



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas**  
**Departamento de Ingeniería Civil**

---

**SEGUIMIENTO Y COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TRAMOS  
CON MEZCLA DRENANTE, SEGÚN ZONA GEOGRÁFICA Y CONDICIONES  
LOCALES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**JAIME ANDRES CAMPOS CANESSA**

Profesor Guía:  
JULIO TORREJON OLMOS

Miembros de la comisión:  
MARCELA MUNIZAGA MUÑOZ  
GABRIELA MUÑOZ ROJAS

---

Santiago de Chile  
Agosto 2008

# ÍNDICE

	Página
<b>CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO 2 MEZCLAS ASFALTICAS</b> .....	4
2.1 Definiciones y Terminología Básica del Asfalto.....	4
2.2 Tipos de Asfaltos Usados en Chile.....	6
2.2.1 Cemento Asfáltico.....	6
2.2.2 Asfaltos Diluidos.....	7
2.2.3 Asfaltos Emulsificados.....	8
2.3 Estructura Tipo de Pavimento Asfáltico.....	9
2.3.1 Carpeta de Rodadura.....	10
2.4 Deterioros y Soluciones en Pavimentos de Asfalto.....	11
2.4.1 Condición Funcional.....	12
2.4.2 Condición Estructural.....	14
2.4.3 Mantenimiento.....	16
<b>CAPITULO 3 MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES</b> .....	18
3.1 Definición.....	18
3.2 Historia de los Pavimentos Drenantes.....	19
3.3 Experiencia en Chile.....	20
3.4 Características de las Mezclas Drenantes.....	21
3.5 Conservación y Vida Útil de Mezclas Drenantes.....	23
3.6 Diseño y Especificaciones de las Mezclas Drenantes.....	25
<b>CAPITULO 4 LA ADHERENCIA ENTRE NEUMATICO Y PAVIMENTO</b> .....	32
4.1 Introducción.....	32
4.2 Hidroplaneo.....	33
4.3 Efecto Neblina.....	44

<b>CAPITULO 5 SEGUIMIENTO APLICADO A MEZCLAS DRENANTES EN ESTUDIO</b>	<b>48</b>
5.1 Ensayos in Situ	49
5.1.1 Determinación de Permeabilidad in Situ	50
5.1.2 Determinación del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento en el Pavimento con Péndulo Británico	50
5.1.3 Determinación del Coeficiente de Fricción Transversal del Pavimento con Equipo SCRIM	52
5.2 Inspección Visual	53
5.3 Comparación entre Tramos	53
<b>CAPITULO 6 APLICACIÓN DE SEGUIMIENTO</b>	<b>56</b>
6.1 Temuco – Cholchol	56
6.1.1 Características de la Mezcla	57
6.1.2 TMDA	60
6.1.3 Pluviometría	61
6.1.4 Ensayos in Situ	62
6.1.4.1 Permeabilidad	62
6.1.4.2 SCRIM	70
6.1.5 Inspección Visual	73
6.2 Valdivia – Paillaco	76
6.2.1 Características de la Mezcla	77
6.2.2 TMDA	81
6.2.3 Pluviometría	82
6.2.4 Ensayos in Situ	83
6.2.4.1 Permeabilidad	83
6.2.4.2 Péndulo Británico	87
6.2.5 Inspección Visual	89
<b>CAPITULO 7 COMPARACIÓN ENTRE TRAMOS</b>	<b>90</b>
7.1 Características de la Mezcla	90
7.2 TMDA	94
7.3 Pluviometría	95
7.4 Permeabilidad	96
7.5 Fricción Superficial	98
7.6 Síntesis	99

<b>CAPITULO 8 CONCLUSIONES</b> .....	100
--------------------------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	104
---------------------------	-----

<b>ANEXOS</b> .....	107
---------------------	-----

Anexo A1: Datos Temuco – Cholchol.....	107
----------------------------------------	-----

Anexo A2: Datos Valdivia – Paillaco.....	111
------------------------------------------	-----

## **INDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Bandas granulométricas para mezclas drenantes en Chile.....	28
Gráfico 2 - Comparación ensayo Cántabro Seco y Húmedo, Temuco – Cholchol.....	59
Gráfico 3 - Porcentaje de Huecos según Cantidad de Asfalto, Temuco – Cholchol.....	60
Gráfico 4 - TMDA tramo Temuco – Cholchol.....	61
Gráfico 5 - Pluviometría mensual promedio en Temuco (2000 – 2007).....	62
Gráfico 6 - Permeabilidad por pista en año 0 tramo Temuco - Cholchol.....	63
Gráfico 7 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Exterior, Temuco – Cholchol.....	64
Gráfico 8 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Interior, Temuco - Cholchol.....	64
Gráfico 9 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Centro, Temuco - Cholchol.....	65
Gráfico 10 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Exterior, Temuco - Cholchol.....	65
Gráfico 11 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Interior, Temuco - Cholchol.....	65
Gráfico 12 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Centro, Temuco - Cholchol.....	66
Gráfico 13 - Permeabilidad Promedio Pista Derecha, Temuco - Cholchol.....	69
Gráfico 14 - Permeabilidad Promedio Pista Izquierda, Temuco - Cholchol.....	69
Gráfico 15 - Coeficiente Roce Transversal Pista Derecha Temuco - Cholchol.....	71
Gráfico 16 - Coeficiente Roce Transversal Pista Izquierda, Temuco - Cholchol.....	71
Gráfico 17 - SFC pista derecha de tramo experimental con respecto a otras superficies.....	72
Gráfico 18 - SFC pista izquierda de tramo experimental con respecto a otras superficies.....	72
Gráfico 19 - Ensayo Cántabro Seco y Húmedo, Valdivia - Paillaco.....	80
Gráfico 20 - Porcentaje de Huecos según Cantidad de Asfalto, Valdivia – Paillaco.....	80
Gráfico 21 - TMDA tramo Valdivia – Paillaco.....	81
Gráfico 22 - Pluviometría mensual promedio en Valdivia (2004 – 2007).....	82
Gráfico 23 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Exterior, Valdivia – Paillaco.....	83
Gráfico 24 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Interior, Valdivia - Paillaco.....	84
Gráfico 25 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Centro, Valdivia - Paillaco.....	84
Gráfico 26 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Exterior, Valdivia - Paillaco.....	84
Gráfico 27 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Interior, Valdivia - Paillaco.....	85

Gráfico 28 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Centro, Valdivia - Paillaco.....	85
Gráfico 29 - Permeabilidad Promedio Pista Derecha, Valdivia - Paillaco.....	86
Gráfico 30 - Permeabilidad Promedio Pista Izquierda, Valdivia - Paillaco.....	86
Gráfico 31 - CRD Pista Derecha, Valdivia - Paillaco.....	87
Gráfico 32 - CRD Pista Izquierda, Valdivia - Paillaco.....	88
Gráfico 33 - Comparación Granulometría de áridos.....	90
Gráfico 34 - Comparación cantidad de asfalto y desgaste Los Ángeles.....	91
Gráfico 35 - Comparación ensayo Cantabro Seco.....	92
Gráfico 36 - Comparación ensayo Cantabro Húmedo.....	92
Gráfico 37 - Comparación % de huecos según cantidad de ligante.....	93
Gráfico 38 - Comparación TMDA proyectados.....	94
Gráfico 39 - Comparación Pluviometría.....	95
Gráfico 40 - Comparación de Ensayo de Permeabilidad.....	96
Gráfico 41 - Comparación Huecos interconectados de aire.....	97
Gráfico 42 - Comparación CRD por pista año 2006.....	98

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Defecto y alcance de fallas en asfalto.....	15
Tabla 2 - Uso de mezclas drenantes en países el 2001.....	20
Tabla 3 - Cemento Asfáltico Modificado con Polímero para Mezclas Drenantes.....	26
Tabla 4 - Bandas Granulométricas para Mezcla Drenante.....	27
Tabla 5 - Dotación de Riego de Liga.....	28
Tabla 6 - Criterios de diseño del ligante.....	29
Tabla 7 - Correlaciones entre péndulo británico (BPN) y SCRIM (SFC).....	54
Tabla 8 - Áridos en Tramo Temuco – Cholchol.....	57
Tabla 9 - Granulometría componente de áridos en Tramo Temuco – Cholchol.....	58
Tabla 10 - Granulometría de mezcla de áridos tramo Temuco - Cholchol.....	58
Tabla 11 - Características principales asfalto en tramo Temuco - Cholchol.....	59
Tabla 12 - Características del asfalto con distintos porcentajes.....	59
Tabla 13 - Posiciones exactas para permeabilidad en Temuco – Cholchol.....	63
Tabla 14 - Resultados Permeabilidad Temuco – Cholchol, año 2008.....	68
Tabla 15 - Áridos en Tramo Valdivia – Paillaco.....	78
Tabla 16 - Granulometría componente de áridos en Tramo Valdivia – Paillaco.....	78
Tabla 17 - Granulometría de mezcla de áridos tramo Valdivia Paillaco.....	78
Tabla 18 - Características principales asfalto en tramo Valdivia – Paillaco.....	79
Tabla 19 - Características del asfalto con distintos porcentajes.....	79
Tabla 20 - Comparación Pasadas de Vehículos proyectadas.....	94
Tabla 21 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Septiembre 1999).....	107
Tabla 22 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Julio 2000).....	107

Tabla 23 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Noviembre 2004).....	107
Tabla 24 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Junio 2008).....	108
Tabla 25 - SCRIM Temuco – Cholchol (Agosto 2001, Enero 2002 y Abril 2002).....	108
Tabla 26 - SCRIM Temuco – Cholchol (Marzo 2003, Noviembre 2004 y Abril 2005).....	109
Tabla 27 - SCRIM Temuco – Cholchol (Septiembre 2006).....	110
Tabla 28 - Pluviometría Temuco – Cholchol (2000 - 2007).....	110
Tabla 29 – TMDA Temuco – Cholchol (2000 - 2006).....	110
Tabla 30 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (2000).....	111
Tabla 31 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (Mayo 2002).....	111
Tabla 32 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (Mayo 2003).....	112
Tabla 33 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (Noviembre 2006).....	112
Tabla 34 - Péndulo británico Valdivia – Paillaco (2006).....	113
Tabla 35 - Pluviometría Valdivia – Paillaco (2004 - 2007).....	113
Tabla 36 - TMDA Valdivia – Paillaco (2004 - 2007).....	113

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fuerzas Laterales y de Frenado de vehículos ante patinaje de neumáticos.....	1
Figura 2 - Estructura Básica de un Pavimento Asfáltico.....	10
Figura 3 - Esquema de Macrotextura y Microtextura en asfalto.....	12
Figura 4 - Efecto en el índice de serviciabilidad cuando existe: (a) Conservación, (b) Rehabilitación o Conservación.....	16
Figura 5 – Acciones de Mantenimiento según Condición Estructural/Funcional.....	17
Figura 6 - Esquema Mezcla Drenante.....	18
Figura 7 - Efecto de la viscosidad de un asfalto modificado con respecto a uno tradicional.....	26
Figura 8 - Esquema de Bermas con Mezcla Drenante.....	30
Figura 9 - Fenómenos de Adhesión e Histéresis en adherencia neumático - pavimento.....	32
Figura 10 - Zonas de Contacto del Vehículo: (a) Vista Lateral, (b) Vista en Planta.....	35
Figura 11 - Respuesta en lluvia del neumático según velocidad del vehículo: (a) Rociadura alta, (b) Rociadura más baja, (c) Disminución de rotación.....	38
Figura 12 - Relación entre Fricción y Velocidad en distintos tipos de Pavimentos.....	41
Figura 13 - Efecto neblina en autos de carrera de Fórmula 1.....	44
Figura 14 - Comparación de proyección de agua en: (a) Pavimento Tradicional, (b) Pavimento Poroso.....	46
Figura 15 - Uso de guardabarros en camiones.....	47
Figura 16 - Permeámetro LCS de carga variable.....	50
Figura 17 - Péndulo de fricción británico (ASTM E 274).....	52
Figura 18 - Vistas Generales del Camión SCRIM.....	53
Figura 19 - Ensayo del Círculo de Arena.....	55
Figura 20 - Ubicación geográfica tramo experimental Temuco – Cholchol.....	56

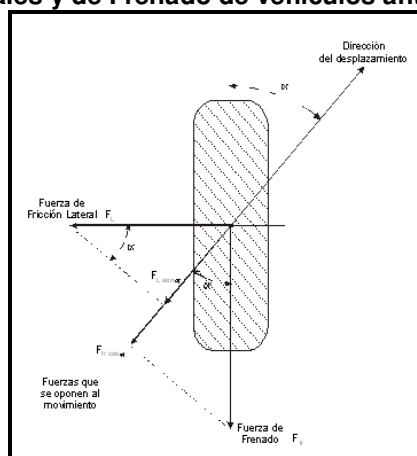
Figura 21 - Estructura Pavimento en tramo experimental Temuco – Cholchol.....	57
Figura 22 - Esquema para permeabilidad en Temuco – Cholchol.....	62
Figura 23 - Influencia de las salidas de tierra en la permeabilidad de la mezcla.....	67
Figura 24 - Monografía tramo experimental Temuco – Cholchol.....	74
Figura 25 - Fallas tramo experimental: (a) Desgaste de áridos, (b) Bache, (c) Grieta Longitudinal y (d) Ahuellamiento.....	75
Figura 26 - Ubicación geográfica tramo experimental Valdivia – Paillaco.....	76
Figura 27 - Estructura Tramo Experimental Valdivia – Paillaco.....	77
Figura 28 - Estado Tramo Valdivia – Paillaco en el año 2006.....	89
Figura 29 - Comportamiento actual de la mezcla drenante en Temuco – Cholchol.....	97

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

En presencia de lluvia, lo más común que suceda en las carreteras es la formación de una capa de agua de bajo espesor en la superficie del pavimento. Como consecuencia de esto los usuarios pierden la adherencia neumático - pavimento, además de verse afectados por una notoria disminución de visibilidad, lo que produce una gran cantidad de accidentes de tránsito ante estas condiciones (Ruiz, 2000). El primer efecto mencionado trae consigo la pérdida de control del vehículo impidiendo maniobrar en forma segura; mientras que por otro lado, el agua que proyectan los vehículos de gran tamaño al desplazarse, genera una neblina que obstruye la visibilidad al vehículo de atrás.

Cuando un vehículo “patina” implica que las ruedas están sometidas a un desplazamiento en una dirección distinta a las de sus ejes principales. A ese movimiento se oponen fuerzas vinculadas con la fricción tanto en el eje longitudinal (que es propia del sistema de frenado del móvil), como en el eje transversal con la aparición de fuerzas laterales de fricción (Ance, 2000). La proyección de estas dos fuerzas sobre el eje de movimiento son las que se oponen a este movimiento involuntario producto de una pérdida de control en pavimento mojado (ver Figura 1).

**Figura 1 - Fuerzas Laterales y de Frenado de vehículos ante patinaje de neumáticos.**



**Fuente: Ance, 2000.**



Por lo tanto, en condiciones de lluvia se afecta la seguridad y el confort de los usuarios de caminos pavimentados. Para evitar estos problemas se necesita que el agua que cae en la superficie, sea evacuada rápidamente, que es justamente lo que se busca con el uso de las mezclas drenantes.

Dentro del universo de posibilidades de mezclas asfálticas, la mezcla drenante, que se caracteriza por tener un porcentaje de huecos mayor al 20 %, es una solución factible para los pavimentos que se construyan en zonas de gran pluviometría. Esto, por las características superficiales que se obtienen con este tipo de mezclas, además de su composición la que permite espesores menores al de una mezcla convencional de asfalto.

Una de las principales características de las mezclas drenantes es que debido al alto porcentaje de huecos permiten el paso del agua a través de la misma, favoreciendo su eliminación de la superficie del camino. La evacuación definitiva del agua que pasa por entre los poros debe ser desalojada mediante sistemas de drenajes laterales.

La investigación que se desarrolla en torno a este tema (que abarca sólo aspectos técnicos), permite ampliar los conocimientos acerca de las características funcionales y el comportamiento en el tiempo de este tipo de pavimento en Chile (verificando cómo aporta a la seguridad y el confort del usuario).

En síntesis, la memoria cubre primeramente todos los aspectos generales relativos a las mezclas asfálticas (definiciones, clasificaciones y tipos de asfalto). Luego se detalla la estructura tipo de un pavimento asfáltico, donde se pone especial hincapié a la carpeta de rodadura, ya que los conductores se ven afectados por defectos en esta capa si la estructura total posee deficiencias en su condición funcional y estructural.

Conociendo las definiciones básicas, es posible mostrar en el capítulo 3 todo lo relacionado con las mezclas asfálticas drenantes, cubriendo desde los inicios de su uso en el mundo y en Chile, hasta sus principales características y aspectos técnicos. Más adelante se demuestra que la mezcla drenante reduce notoriamente dos fenómenos importantes que se generan en un pavimento en condiciones de lluvia: el hidropilado y el efecto neblina; el primero afecta el control del vehículo y el último genera problemas de visibilidad.

Los últimos capítulos se refieren al seguimiento propiamente tal, primero definiendo lo que se hizo con el material disponible, para después describir, detallar y analizar los aspectos técnicos y ensayos tanto de fricción como de permeabilidad del pavimento. Se finaliza con una comparación y conclusiones sobre el comportamiento en el tiempo de los tramos con mezcla asfáltica ubicados en Temuco-Cholchol y Valdivia-Paillaco.

## CAPÍTULO 2 MEZCLAS ASFÁLTICAS

### 2.1 Definiciones y Terminología Básica del Asfalto

Según el Manual del Asfalto (1989), el asfalto es un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos. En base a la proporción de asfalto, los petróleos se clasifican en:

- **Petróleos crudos de base asfáltica:** contiene alta proporción de bitumen.
- **Petróleos crudos de base parafínica:** contiene altos porcentajes de parafina, y no son aptos para obtener asfaltos.
- **Petróleos crudos de base mixta:** contiene parafina y asfalto.

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Debido a que el asfalto es el constituyente más pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. Por lo tanto, el asfalto es obtenido como producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos de obras ingenieriles y arquitectónicas.

El asfalto es, además, un material bituminoso porque contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble totalmente en bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>). El alquitrán obtenido

de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún. Consecuentemente, tanto el petróleo asfáltico como el alquitrán son referidos en forma conjunta, como materiales bituminosos. Sin embargo, el asfalto de petróleo no debe ser confundido con el alquitrán, ya que sus propiedades difieren en forma considerable. El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como materiales completamente distintos.

El asfalto de petróleo para uso en pavimentos es comúnmente llamado asfalto de pavimentación o cemento asfáltico para distinguirlo del asfalto hecho para otros usos, como ser con propósitos industriales o techumbres.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, adherente, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos de elementos, como por ejemplo: oxígeno, nitrógeno y azufre (sulfuros). Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas, aglomerarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no lo afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

Las características visco elásticas del asfalto que cementa los agregados en la superficie de rodadura, generan una microdeformación al paso de las cargas, la cual recupera su posición original cuando las cargas desaparecen. Es por esto que se le denomina flexible a los pavimentos hechos con mezclas asfálticas.

En Chile se usa distintos tipos de asfalto, lo más importantes se describen a continuación.

## **2.2 Tipos de Asfaltos Usados en Chile**

### **2.2.1 Cemento Asfáltico**

Son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.

Los asfaltos más usados en Chile son los que provienen de la destilación del petróleo. Los asfaltos para pavimentos se obtienen de petróleos crudos de base asfáltica mediante destilación, quedando como residuos de este proceso. La mayor o menor dureza del asfalto depende de las condiciones de destilación, tales como presión, temperatura y tiempo.

Estos asfaltos reciben el nombre de "destilado directo" para diferenciarlos de aquellos obtenidos por oxidación, que toman el nombre de "oxidados", y que son empleados en impermeabilizaciones y no en pavimentos.

Los cementos asfálticos pueden ser clasificados por: Grado de Penetración, Grado de Viscosidad o Grado de Desempeño ("Performance"). La primera clasificación se divide según su dureza o consistencia medida a través del ensaye de penetración en 1/10 [mm], valor que es inverso a la dureza. De acuerdo a esto los cementos asfálticos se denominan CA 40-50, CA 60-80, CA 80-100 ó CA 120-150.

Actualmente en Chile se utilizan cementos asfálticos clasificados por Grado de Viscosidad absoluta y original, medidos a 60° C y 300 [mm] de mercurio de presión. Se denomina CA 24, cuyo valor de viscosidad es mayor o igual a 2400 [poises] y CA 14 cuando el rango de viscosidad absoluta está entre 1400 y 2400 [poises].

La clasificación por grado de desempeño se designan como “PG XX-YY”, donde:

- **XX:** es la temperatura máxima promedio del pavimento medido a 20 [mm] de profundidad, en el lugar donde será utilizado.
- **YY:** es la temperatura mínima superficial del pavimento de la zona donde se utilizará.

### 2.2.2 Asfaltos Diluidos

Según la terminología del Manual del Asfalto (1989), asfalto líquido se define como: "*Material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300*".

Estos asfaltos compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil que puede ser: bencina, kerosene, aceite o agua con emulsificador. El fluidificante se agrega con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los áridos a baja temperatura. Una vez elaborada la mezcla, los fluidificantes se evaporan, dejando el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona las partículas de agregado. De acuerdo al fluidificante, más o menos volátil, estos asfaltos se dividen en:

- **Asfaltos cortados de curado rápido:** el fluidificante de este tipo de asfalto es bencina; se designan con las letras RC (rapid curing) seguidas con un número que indica el grado de viscosidad cinemática que tienen, medida en centistokes.
- **Asfaltos cortados de curado medio:** cuyo fluidificante es kerosene, se designan con las letras MC (medium curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen.
- **Asfaltos líquidos de curado lento:** cuyo fluidificante es aceite, relativamente poco volátil, se designan con las letras SC (slow curing)

seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen. Los asfaltos de curado lento actualmente no son utilizados en Chile.

### **2.2.3 Asfaltos Emulsificados**

Los asfaltos emulsificados (emulsión asfáltica), cuyo fluidificante es el agua, permite un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles entre el asfalto y el agua. Se le incorpora una pequeña cantidad de un agente emulsificador, generalmente de base jabonosa (ácidos grasos) o solución alcalina, el cual mantiene estable este sistema de agua combinada con pequeños glóbulos de asfalto en suspensión (de un tamaño que fluctúa entre 1 y 10 micrones). Los agentes emulsificantes forman una película protectora alrededor de los glóbulos de asfalto estableciéndoles una determinada polaridad en la superficie, lo que hace que estos se repelan, manteniéndose estable la emulsión.

Cuando una emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado, y el agua fluye o se evapora separándose de las piedras recubiertas por el asfalto. Hay agentes emulsificadores que permiten que esta rotura o quiebre sea instantáneo y otros mas poderosos que retardan este fenómeno. De acuerdo a esto, las emulsiones se dividen en:

- **Emulsión asfáltica de quiebre rápido:** se designa con las letras RS (rapid setting).
- **Emulsión asfáltica de quiebre medio:** se designa con las letras MS (medium setting).
- **Emulsión asfáltica de quiebre lento:** se designa con las letras SS (slow setting).

Como es sabido, existen áridos de polaridad positiva y negativa; por lo tanto, para tener buena adherencia es necesario tener la emulsión eléctricamente acorde al árido. Esta cualidad se la confiere el agente emulsificador que puede darles polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas y catiónicas respectivamente.

Las emulsiones catiónicas se designan con las mismas letras anteriormente dichas y anteponiéndoles la letra “C”, como por ejemplo las CRS-1 y CSS-1.

Después de haber sido definidos los tipos de asfalto, sus propiedades y características, se puede decir que una mezcla asfáltica no es más que la unión de asfalto, árido y aditivos que ayudan a la cohesión, consistencia, trabajabilidad etc. Esta mezcla está emplazada en una estructura general que se denomina pavimento asfáltico, la cual se especifica en el próximo ítem.

### **2.3 Estructura Tipo de Pavimento Asfáltico**

Un pavimento flexible (o de asfalto), consiste en una capa asfáltica construida sobre una base granular y sub-base granular, y estos descansan sobre un material natural denominado subrasante (ver Figura 2). En este tipo de pavimentos, la carga es llevada al subsuelo a través del sistema de capas que componen la estructura, las cuales van gradualmente bajando de mayor a menor calidad respecto de su superficie de contacto con las sollicitaciones de tránsito.

Las capas asfálticas son formadas por una composición de áridos de diferentes tamaños con asfalto, este último con la propiedad visco elástica previamente definida, que permite que sea manejable a altas temperaturas (en el proceso de colocación) y además, que su comportamiento mecánico permite micro deformaciones elásticas. Así, es posible que la estructura pétreo (áridos), reciba las cargas de los automóviles y sea capaz de disipar estos esfuerzos al resto de las capas del pavimento.



**Figura 2 - Estructura Básica de un Pavimento Asfáltico.**



Fuente: Echeverria, s.a.

La carpeta de rodadura es sin lugar a dudas la capa de la estructura más importante en términos de contrarrestar los efectos superficiales del tráfico y el clima del sector donde se coloca. Sin embargo, si toda la estructura no es capaz de soportar estos esfuerzos, es probable que se afecte tanto las condiciones funcionales como estructurales del pavimento. Tanto las funciones y requerimientos de la carpeta de rodadura, además de los deterioros y soluciones en los pavimentos asfálticos se exponen a continuación.

### **2.3.1 Carpeta de Rodadura**

Los materiales de una carpeta de rodadura o concreto asfáltico influyen en todos los factores referentes al desplazamiento del vehículo, por lo que una mejora sustancial en su calidad incide principalmente en la seguridad, confort y costos del usuario de las carreteras.

Las funciones principales de una carpeta de rodadura son: resistir las sollicitaciones producidas por el tráfico y proporcionar una superficie de rodamiento adecuada para el desplazamiento normal de los vehículos. Además de esto, la carpeta debe permitir el drenaje superficial e impedir que el agua se inserte al interior del

pavimento, evitando así posibles subpresiones que provocan grietas y fallas estructurales.

Entre las características superficiales más importantes que debe poseer una carpeta de rodadura son (Ruiz, 2000):

- Resistencia al deslizamiento y adherencia incluso en condiciones adversas de lluvia (piso húmedo o mojado).
- Reducción del ruido producido por la fricción neumático-pavimento.
- Baja pérdida de visibilidad debido a deslumbramiento de focos de vehículos transitando de noche (con y sin lluvia).
- Regularidad superficial que anule vibraciones molestas a los ocupantes de un vehículo o que interfiera en la conducción.

## **2.4 Deterioros y Soluciones en Pavimentos de Asfalto**

Según Thenoux et al (2003) y todos los investigadores y encargados de las vías del mundo, el deterioro de un pavimento es un proceso que comienza inmediatamente después de su construcción. Las principales causas del deterioro son las sollicitaciones externas producidas por el tráfico y los agentes climáticos. Sin embargo, la tasa y tipo de deterioro que experimente un pavimento, dependen además de una serie de otros factores de proyecto que actúan en muy diversas combinaciones, entre los cuales, los más importantes son: **calidad del diseño original, calidad de los materiales y especificaciones técnicas, calidad del proceso constructivo, calidad del control del proceso y características de las acciones de conservación aplicadas.**

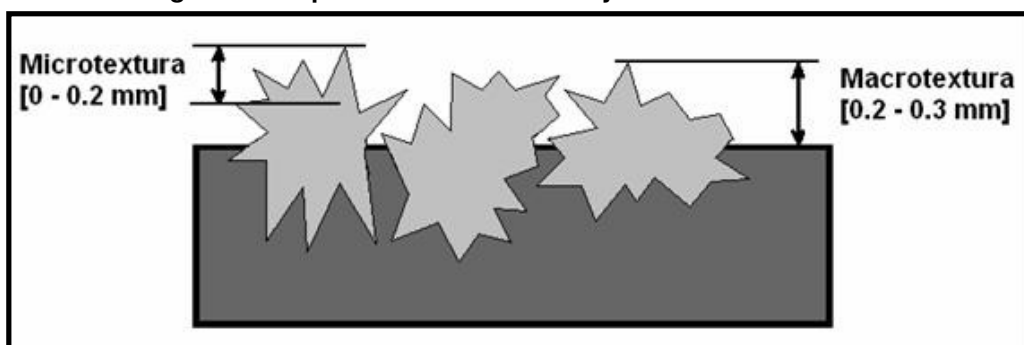
El deterioro de un pavimento es un proceso progresivo, por lo cual es necesario realizar una gestión de mantenimiento en base a acciones de Conservación y Rehabilitación, considerando siempre si las fallas están afectando la condición funcional y/o condición estructural del pavimento.

### 2.4.1 Condición Funcional

Se habla de condición funcional de un pavimento a los aspectos relacionados con la calidad de servicio y operacional que ofrece. Se asocia con la calidad de rodado y seguridad de los vehículos, es decir, se relaciona sólo con las características superficiales del pavimento. Tradicionalmente los dos parámetros funcionales utilizados para administrar la calidad funcional de un pavimento son:

- **Índice de Serviciabilidad Presente (PSI):** umbral de diseño que relaciona la calidad de servicio al usuario con: agrietamiento, rugosidad longitudinal, baches y deformaciones de la capa superficial de un pavimento asfáltico. Se trata entonces que mientras el usuario tenga una superficie suave, confortable, que permita conducir con seguridad, más índice de serviciabilidad tendrá el pavimento.
- **Resistencia al Deslizamiento (Fricción):** esta propiedad que afecta directamente la seguridad del usuario, depende de: textura del pavimento (microtextura y macrotextura, ver Figura 3), presencia de agua, características del neumático y otros.

Figura 3 - Esquema de Macrotextura y Microtextura en asfalto.



Fuente: Roco et al, 2003.

Cabe destacar que la microtextura es la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales puede ser de tipo áspera o pulida (en Chile, debido a su mayor dureza, los áridos presentan menor desgaste o pulimiento). La macrotextura,

en tanto, tiene que ver con la textura superficial de todo el pavimento, el cual proviene de las partículas de agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Depende del tipo de mezcla que haya en la superficie: si es mezcla drenante o tratamiento superficial la macrotextura será de tipo gruesa, y si es una mezcla convencional densa la macrotextura será más bien fina (Roco et al, 2002).

Existen otros parámetros funcionales tales como:

- **IRI (Índice de Regularidad Internacional):** indicador que representa las vibraciones producidas por la rugosidad del camino. El modelo calcula la suma de desplazamientos verticales de una masa al interior de un vehículo que transita a 80 [Km/h] sobre el pavimento.
- **Nivel de Ruido:** generado por la interacción del neumático con la superficie del pavimento (textura). Existen equipos prototipos capaces de medir la generación de ruido sólo por este efecto, aislando el ruido de los motores de los vehículos.
- **Producción del Efecto Neblina o “Spray”:** cuando un vehículo circula sobre una superficie mojada, se levanta una neblina o “spray” que causa problemas de seguridad a los demás vehículos que circulan por la carretera. Esto depende del drenaje superficial e interno de la carpeta de rodadura y la porosidad (o macrotextura) de la superficie del pavimento.

En la actualidad se quiere instaurar el denominado Índice de Fricción Internacional (IFI), creándose un parámetro internacional de medida de la resistencia al deslizamiento, el cual homologue distintos equipos de medida de la calidad antideslizante procedentes de varios países. Con esto, se permitiría comparar distintos pavimentos y sus características adherentes en distintos lugares bajo un mismo parámetro.

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2002), el IFI es una escala de referencia que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento, el cual viene indicado por dos números expresados entre paréntesis y separados por una coma (F, M); el primero representa la fricción (F) y el segundo la macrotextura (M). El término “F” es un número adimensional mientras que el último es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). Con este parámetro se estimarán la constante de referencia de velocidad ( $S_p$ ) y la de fricción a 60 km/h (F60) de un pavimento. El par de valores (F60 y  $S_p$ ) expresan el IFI de un pavimento y permiten calcular el valor de fricción,  $F(S)$ , a cualquier velocidad de deslizamiento (S).

#### **2.4.2 Condición Estructural**

La condición estructural de un pavimento es el nivel de integridad física y estructural en que se encuentra en su conjunto (estado de cada una de las capas que conforman la estructura, incluyendo la subrasante).

Las formas de falla estructural son básicamente dos:

- **Agrietamiento por Fatiga de la(s) capa(s) asfáltica(s).**
- **Deformación acumulada de la Subrasante.**

Los umbrales de falla estructural quedan determinados en las hipótesis de diseño, estos son:

- **Agrietamiento y/o deformación por exceder tensiones y deformaciones admisibles de diseño.**
- **Agrietamiento por fatiga de capas asfálticas o capas granulares cementadas.**
- **Deformación acumulada del suelo de subrasante.**

Existen ciertos tipos de fallas que pueden ser fácilmente atribuibles a la calidad de los materiales o a la calidad de la mezcla misma (ahuellamiento, exudación, desgaste, pérdida de material, grietas en bloque, otras). Pero, además de esto, existen otras fallas que pueden tener un origen combinado entre la sollicitación estructural del tránsito y la calidad de la mezcla o los materiales. Entre estas últimas, se puede apreciar la denominada grieta tipo “piel de cocodrilo”, que es difícil de determinar si su estado de deterioro es muy avanzado.

Es de suma importancia para el diagnóstico, alcance y cuantificación de las fallas, poder establecer qué tipo de deterioro se está produciendo. Existe el deterioro localizado, que se presenta en forma puntual y aleatoria, y es debido a situaciones singulares del pavimento; y el deterioro generalizado, que se presenta en forma continua en un tramo de pavimento, y se debe a la mala ejecución en temas relativos a: diseño estructural, especificaciones técnicas, hipótesis de diseño estructural y diseño de mezclas. En la Tabla 1, se presenta una síntesis de los distintos defectos que sufre un asfalto y qué parte de él se ve involucrada, realizada por Thenoux et al (2003).

**Tabla 1 - Defecto y alcance de fallas en asfalto.**

<i>Tipo de Defecto</i>	<i>Defecto</i>	<i>Alcance</i>
<b>Agrietamiento</b>	Por fatiga	Capa asfáltica
	En bloque	Capa asfáltica y/o bases cementadas
	De juntas y bordes	Capas asfálticas
	Por deslizamiento	Interfase capa asfáltica con capa superior
	Por deslizamiento	Terraplén
	De reflexión	Capa asfáltica
	Transversales	Capa asfáltica y/o bases cementadas
<b>Deformaciones</b>	Deformación mezcla asfáltica	Capa asfáltica
	Deformación de base o subbase por compactación	Capa asfáltica y base
	Deformación subrasante por fatiga	Capa asfáltica, base y subrasante
	Deformación subrasante tensión admisible	Capa asfáltica, base y subrasante
<b>Pérdida de material</b>	Baches	Capa asfáltica y/o base y/o subrasante
	Pérdida de agregado	Capa asfáltica
	Pérdida de asfalto	Capa asfáltica
<b>Defecto Superficial</b>	Agregado pulido	Capa asfáltica
	Exudación	Capa asfáltica

**Fuente: Thenoux et al, 2003.**

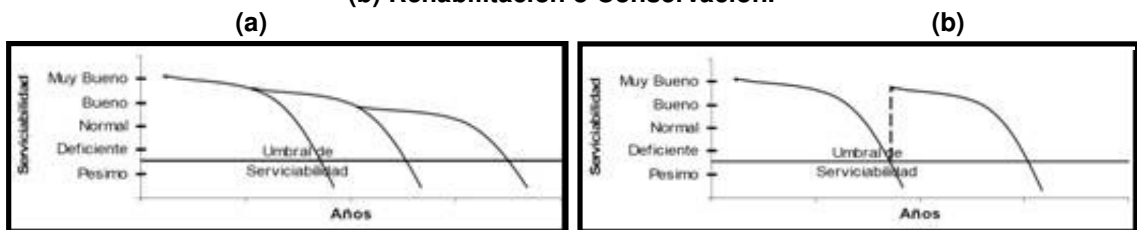
### 2.4.3 Mantenimiento

El objetivo de esta acción es mantener en buen estado la estructura de las calzadas, superficies de rodaduras, bermas, y otras obras complementarias, para que las condiciones de seguridad y confort sean óptimas. Se dividen en dos (Sepúlveda, 2001):

- **Conservación:** se aplica de forma programada en el tiempo, y tiene como objetivo restaurar alguna de las condiciones funcionales del pavimento, para prevenir el deterioro estructural. Dentro de esta acción se encuentra la reparación, que suele ser localizada o puntual, y sólo se resuelve con técnicas de bacheo.
- **Rehabilitación:** restaura la condición estructural, y por ende la condición funcional del pavimento (aunque también existen rehabilitaciones de la parte funcional solamente). Estas se pueden programar en el tiempo, sin embargo, el rango de aplicación de cada una de las rehabilitaciones se pueden traslapar según sea el grado de deterioro estructural y las condiciones estructurales futuras requeridas por el proyecto.

A través de la serviciabilidad del pavimento, que califica la calidad del mismo según el confort del usuario, es posible observar el efecto de una conservación o una rehabilitación del pavimento (ver Figura 4). La primera aumenta la serviciabilidad pero nunca la iguala a la mejor condición del pavimento, mientras que la rehabilitación en la mayoría de las veces se ejecuta cuando el pavimento tiene su peor comportamiento para el usuario, es decir, se llegó al umbral de la serviciabilidad.

**Figura 4 - Efecto en el índice de serviciabilidad cuando existe: (a) Conservación, (b) Rehabilitación o Conservación.**

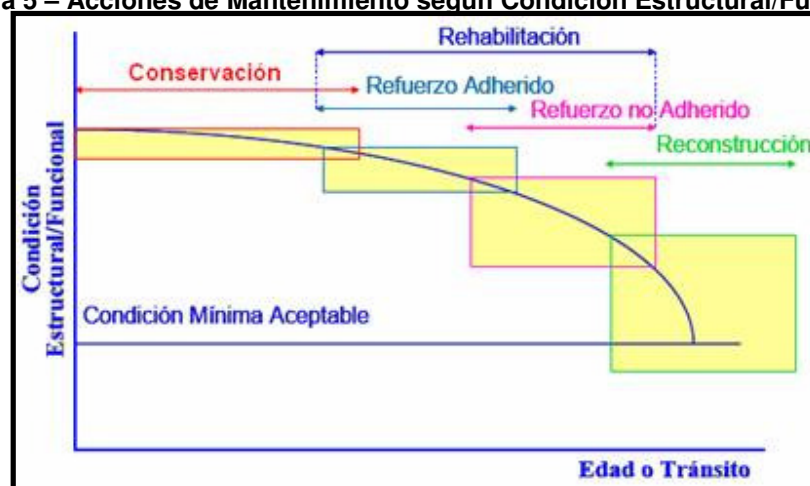


Fuente: Sepúlveda et al, 2001.

En Chile se suele dividir los trabajos de conservación en tres tipos: rutinarios, periódicos y diferidos. La conservación rutinaria comprende todas aquellas operaciones que se realizan durante un año, independiente de los niveles de tránsito y clima, de acuerdo con los requerimientos expresados en el Catálogo de Conservación de Caminos del MOP. Por otro lado, la conservación periódica corresponde a aquellas operaciones que requieren ser repetidas en periodos mayores de un año (reposición de carpeta, por ejemplo), con el fin de mantener las condiciones de diseño y brindar un buen nivel de servicio. Por último, la conservación diferida corresponde a las operaciones de conservación o refuerzo que se ejecutan para reponer o mejorar el nivel de servicio de los caminos y puentes en general, incluyendo las obras que permitan mantener la serviciabilidad dentro de los márgenes previstos, considerando la repavimentación cuando los indicadores respectivos así lo indiquen.

Tanto la conservación como la rehabilitación (o refuerzos) depende su ejecución de la condición existente del pavimento (ver Figura 5). Cuando ninguna de estas dos acciones no son suficientes para mejorar la calidad de un pavimento, es necesario la reconstrucción total del tramo en cuestión (Solminihaç, 2006).

**Figura 5 – Acciones de Mantenimiento según Condición Estructural/Funcional.**



Fuente: Solminihaç, 2006.



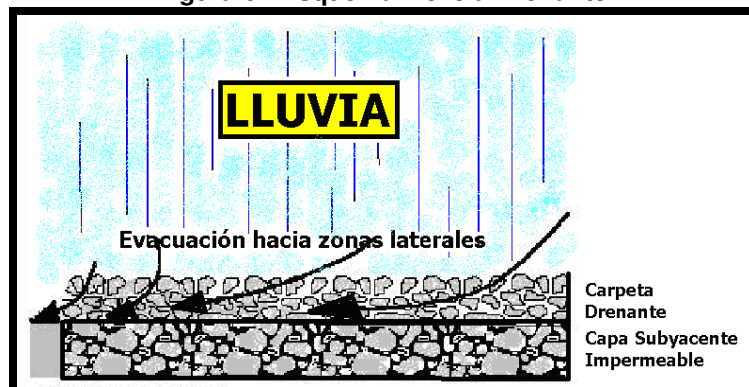
## CAPÍTULO 3 MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

### 3.1 Definición

Las mezclas drenantes (o también denominadas porosas) son mezclas asfálticas generalmente en caliente que se utilizan como carpeta de rodadura, las cuales se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos de aire (entre 18 y 25%) interconectados entre sí. Estos huecos permiten el paso del agua superficial a través de ella y por ende su rápida evacuación primero hacia abajo y luego hacia las zonas laterales, fuera del área de contacto entre el neumático de los vehículos y el pavimento (ver Figura 6). Gracias a lo anterior, se impide la formación de una capa de agua superficial cuando llueve, evitando pérdidas de control y visibilidad en los conductores (Muñoz, s.a.).

El alto porcentaje de huecos de la mezcla drenante se logra mediante el uso de granulometría especial, que consiste en un alto porcentaje de áridos gruesos (alrededor del 85%), poco fino y un aporte de filler. Para estas mezclas se debe asegurar la impermeabilidad de la capa subyacente, debido a las posibles infiltraciones de agua que provocan fallas estructurales en este pavimento. Adicionalmente, debe tener un diseño geométrico tal que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se introduzca en las capas inferiores del camino.

Figura 6 - Esquema Mezcla Drenante.



Fuente: Ruiz, 2000.

### **3.2 Historia de los Pavimentos Drenantes**

Los inicios de las mezclas drenantes tuvieron lugar en algunos aeropuertos del Reino Unido y luego en Estados Unidos bajo la forma de tratamiento superficial en capa de 2 [cm], cuyo objetivo principal era luchar contra el deslizamiento de las aeronaves (Ruiz, A., s.a.). Luego el uso de estas mezclas comenzó a experimentar una evolución importante al desarrollarse bajo el concepto mucho más amplio de que la capa de rodadura fuera capaz de absorber las lluvias, eliminando el agua superficial que se interpone entre neumático y pavimento. Con el transcurso del tiempo, además, se detectó la capacidad de absorber el ruido generado por la rodadura de los vehículos, lo que conllevó a un aumento en su uso, haciendo de esta mezcla una de las de mayor desarrollo en Europa en los últimos 25 años.

En Europa se introdujo a finales de los años 70 y en 1980 hizo su aparición en España, donde se generalizó su uso sólo a partir de 1985. Existen mezclas drenantes con granulometrías continuas y discontinuas. Inicialmente se diseñaron con contenido de huecos entre el 15 y 18 %, pero la colmatación aparecía muy rápido con esta configuración, por lo que actualmente se exige un porcentaje mínimo de 20 %. Se han desarrollado mezclas tan porosas que ya han bordeado el 28 % de porcentaje de huecos.

La Tabla 2 muestra el uso de las mezclas drenantes en algunos países, principalmente de Europa. Se detalla lo construido hasta el 2001, el porcentaje de esta mezcla especial con respecto al total pavimentado por cada país, y lo que se construyó en ese año. Se puede ver que en Japón, Holanda y Francia es donde más se ha construido este pavimento especial, y por ende donde más experiencia se tiene sobre su uso y conservación.

**Tabla 2 - Uso de mezclas drenantes en países el 2001.**

<i><b>País</b></i>	<i><b>Área Total en millones [m<sup>2</sup>]</b></i>	<i><b>% del total anual producido el 2001</b></i>	<i><b>Área aplicada en 2001 en millones [m<sup>2</sup>]</b></i>
<b>Austria</b>		1	
<b>Bélgica</b>		2	1
<b>Dinamarca</b>	1.3	0.3	0.2
<b>Eslovenia</b>	0.2	0.1	0.02
<b>Francia</b>	>45		
<b>Grecia</b>	1.2		
<b>Holanda</b>	48	6	5
<b>Irlanda</b>		3	0.84
<b>Islandia</b>	<0.1		
<b>Italia</b>	13	0.2	1
<b>Portugal</b>		1.2	
<b>República Checa</b>			0.5
<b>Suecia</b>		2	
<b>Suiza</b>		2	11
<b>Israel</b>		0.4	0.22
<b>Japón</b>	100	3.5	27
<b>Nueva Zelanda</b>		5	

**Fuente: Murillo, 2001.**

### **3.3 Experiencia en Chile**

El uso de las mezclas drenantes en Chile tuvo su inicio el año 1996 cuando la Unidad de Carreteras de la División El Teniente de Codelco Chile construyó un tramo experimental de aproximadamente 1.500 [m<sup>2</sup>]. Esta carpeta poseía 4 [cm] y fue confeccionada con cemento asfáltico modificado, y se instaló sobre una capa de graduación densa nivelante y con un bombeo de 1,0%. Durante su vida útil, este tramo se comportó de muy buena forma en términos funcionales y estructurales, por lo que se siguió experimentando con estas mezclas y el año 2000 se realizó un tramo de 10.000 [m<sup>2</sup>], donde esta vez la capa drenante aplicada fue de 5 [cm] de espesor y construida sobre un pavimento existente, el cual fue tratado previamente por una capa de lechada asfáltica (Delfín, 2007).

La Dirección de Vialidad, teniendo en cuenta los resultados de los tramos mencionados previamente (tanto en el ámbito de su aplicación como su comportamiento en servicio), decidió realizar más tramos experimentales con el propósito de evaluar el comportamiento en distintas condiciones geográficas.

El año 1999 se introducen en los contratos de repavimentación de la Ruta S-20 y 207, ubicados en la Región de la Araucanía y Región de Los Ríos respectivamente, donde se destinaron tramos con carpeta drenante, además de un pequeño tramo de 300 [m] de longitud en Concón, Ruta 60-CH. Este último desapareció debido a un nuevo proyecto que funcionará en poco tiempo en dicha zona.

### **3.4 Características de las Mezclas Drenantes**

Las mezclas drenantes ofrecen una gama de ventajas para el usuario en condiciones de lluvia (Muñoz, 2001). Entre ellas se puede mencionar las siguientes:

- **Eliminación de hidroplaneo:** se habla de este fenómeno cuando la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, haciendo que el conductor pierda el control de su vehículo. Una rápida evacuación del agua de la superficie del camino (que ofrece la mezcla porosa o drenante), ayuda a impedir este fenómeno.
- **Reducción de proyecciones de agua:** estas mezclas, como permiten mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo, previenen que se produzcan tanto el levantamiento como la pulverización del agua al paso de los vehículos. Esto provoca un mejoramiento destacable en la visibilidad del conductor en condiciones de lluvia.
- **Menor deslumbramiento de luces vehiculares:** cuando está lloviendo de noche, los conductores se ven enfrentados al deslumbramiento por efecto de luces de vehículos que circulan en sentido contrario, ocasionando reflexión de la luz en los pavimentos mojados tradicionales. El uso de pavimentos de textura rugosa, al liberar el agua de la superficie, reducen este problema permitiendo al conductor ver mejor la vía y la señalización.
- **Reducción de ruido al paso de vehículos:** las mezclas drenantes contribuyen a la absorción de ruidos generados por el roce entre el neumático y el pavimento cuando el vehículo está en movimiento (tanto en

condiciones de lluvia como en seco), ya que el alto porcentaje de huecos de aire interconectados, permiten disipar los ruidos hacia el interior. Gracias a esta reducción de ruidos, las personas que viven cerca de carreteras son las que más se ven favorecidas. Se estima que la reducción media en la sonoridad ambiental es entre 3 a 6 decibeles en comparación a una mezcla normal, apreciándose incluso una diferencia mayor sobre pavimentos húmedos.

En otro sentido, las mezclas drenantes presentan las siguientes desventajas con respecto a una mezcla asfáltica convencional (Ruiz, 2000):

- **Colmatación de poros:** los huecos de las mezclas porosas durante su vida útil tienden a colmatarse por la acumulación de polvo, arena, materia orgánica u otros. Este fenómeno, a pesar de constituir una pérdida en las propiedades drenantes de la mezcla (y por ende en la reducción de ruidos, efecto neblina e hidroplaneo), no afecta en el funcionamiento como carpeta de rodadura. En la actualidad, existen máquinas de origen japonés que mediante técnicas de lavado a presión lograrían la limpieza de los poros, anulando temporalmente la colmatación.
- **Mayor costo:** estas mezclas deben construirse necesariamente con asfaltos modificados y áridos de una calidad superior a la normal, lo cual establece un aumento del costo directo tanto de su construcción como del mantenimiento de esta obra (con respecto a una mezcla asfáltica convencional).
- **Diseño geométrico estricto:** la mezcla drenante, cuando es utilizada como carpeta de rodadura, obligadamente se debe extender sobre una capa que sea impermeable y estructuralmente estable. Adicionalmente esta capa requiere de una geometría adecuada para la evacuación del agua hacia los costados de la pista.

- **Drenaje lateral exigente:** los huecos de esta mezcla hacen escurrir el agua de la superficie hacia drenes laterales, lo cual implica forzosamente la construcción de ductos y otras obras asociadas a la evacuación de las aguas.
- **Especial cuidado invernal:** en zonas donde hay posibilidad de formación de hielo, el mantenimiento invernal debe ser muy cuidadoso, lo que puede limitar su empleo. Esto se debe a que la temperatura en superficie es inferior a la de una mezcla convencional y la humedad permanece más tiempo en los poros. Se necesita mayor cantidad de sales fundentes para mantener los caminos libres de nieve, por lo que se debe organizar equipos de mantenimiento de forma aún más efectiva que en las situaciones convencionales y actuar con anticipación. En aquellos casos en que no puedan tomarse estas precauciones es mejor evitar la colocación de mezclas drenantes.

### 3.5 Conservación y Vida Útil de Mezclas Drenantes

Según Ruiz (2000), la falla en este tipo de pavimentos viene dada principalmente por dos causas:

- **Disgregación de la mezcla:** ocurre producto de los esfuerzos tangenciales del tráfico. Su aparición se manifiesta con baches, peladuras de áridos y una incipiente pérdida de regularidad superficial, tanto longitudinal como transversalmente. Ocurre en zonas localizadas donde la mezcla se ha colocado fría o ha sido subcompactada.
- **Colmatación progresiva de la mezcla:** con el tiempo se pierde drenabilidad, ocasionado por la acumulación de polvo, arena, materia orgánica etc., en los huecos interconectados. Su aparición depende del porcentaje inicial de huecos de la mezcla, del tipo de camino (en uno rural se colmatará mucho más que en una mezcla usada en autopista).

Actualmente para la mantención ante la pérdida de áridos, y gracias al desarrollo de emulsiones de rotura media fabricadas con betún modificado, se pueden fabricar mezclas semicalientes en las plantas en caliente convencionales, en las que el árido se calienta a unos 80 °C y la emulsión a 40-50 °C. Otra solución más común es elaborar una mezcla con asfalto tradicional, pero teniendo en cuenta que el porcentaje de asfalto debe ser mayor a lo normal, logrando así la misma resistencia que un asfalto elastomérico<sup>1</sup>.

Para conservar la permeabilidad de la mezcla, se está trabajando y avanzando en el diseño de los equipos de limpieza, compuestos hasta ahora por camiones provistos de un equipo de agua a presión y de un sistema de aspiración conectado a un depósito provisto de filtros. Dichos equipos sólo son parcialmente efectivos y tienen que aplicarse rápidamente a partir de la puesta en servicio de las mezclas, aunque no existe consenso sobre la estrategia más adecuada de limpieza y de la eficacia en cuanto al costo.

De la experiencia con este tipo de mezclas (especialmente en Europa), se estima que la pérdida total de drenabilidad puede ocurrir entre los 9 y 12 años, en tanto que la vida útil final como carpeta de rodadura varía entre los 12 y 15 años dependiendo del tránsito y la conservación realizada en su vida (igual a una mezcla asfáltica convencional).

---

<sup>1</sup> Ver Internet [http://www.cepsa.com/productos/pages/xpa\\_ig\\_3.htm?idi=1](http://www.cepsa.com/productos/pages/xpa_ig_3.htm?idi=1)

### 3.6 Diseño y Especificaciones de las Mezclas Drenantes

Cuando se diseñan mezclas drenantes o porosas, existen dos condiciones que se deben cumplir cabalmente: **resistencia a la disgregación** y **permeabilidad**. Sin embargo, estas restricciones se contraponen: mientras la mejora de cohesión entre el asfalto y el agregado pétreo viene asociada con el aumento en cantidad de áridos finos y ligante, se tiene que la permeabilidad o porosidad de esta mezcla requiere un incremento en el uso de áridos gruesos y reducir la fracción fina. Lograr el máximo contenido de huecos posible junto con una buena resistencia a las cargas del tráfico es posible mediante el uso de áridos y asfalto de mejor calidad, una granulometría especial y una dosificación en laboratorio adecuada (Muñoz, 2001).

Según el Volumen 5 del Manual de Carreteras, sección 5.414 (MOP, 2003), la construcción de una carpeta asfáltica drenante y antideslizante, se confecciona con asfalto modificado con polímero, en planta asfáltica en caliente con las características que se especifican más adelante, y se debe construir siempre sobre una carpeta asfáltica impermeable (generalmente mezcla densa).

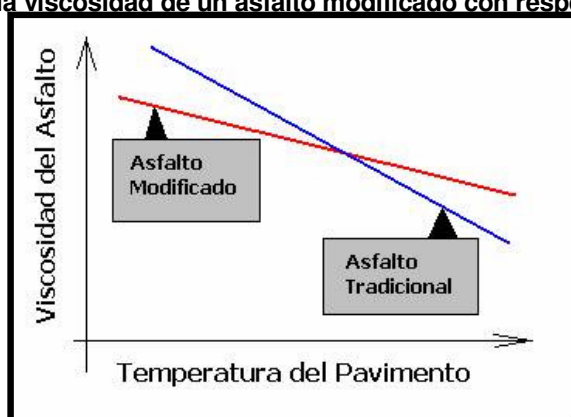
Los materiales usados para construir esta carpeta (asfalto, áridos y riego de liga) poseen características distintas a las habituales en obras de pavimentación. A continuación se presenta las especificaciones que se piden en Chile para su uso.

- **Asfalto:** los asfaltos para mezclas drenantes serán cementos asfálticos modificados con polímero. Su uso se debe a que para lograr la drenabilidad necesaria de esta mezcla, se requiere de una adhesividad y resistencia al envejecimiento sin utilizar grandes porcentajes de asfalto (que producirían escurrimiento en su colocación). Con esto también se logra esencialmente un aumento de viscosidad, ductilidad a bajas temperaturas y menos susceptibilidad a los cambios de temperatura, que permite aumentar la temperatura de fabricación para mejorar la adherencia árido-ligante y así mantener los huecos de estas mezclas.



Los polímeros más utilizados son SBS (estireno-butadieno-estireno), EVA (etileno acetato de vinilo) y el caucho. Con todo esto, al comparar el uso de asfalto modificado con elastómero con respecto a uno tradicional, se observa una mejor resistencia al arranque de partículas tanto con temperaturas elevadas por su mayor viscosidad, como a bajas temperaturas por su menor fragilidad (ver Figura 7).

**Figura 7 - Efecto de la viscosidad de un asfalto modificado con respecto a uno tradicional.**



Fuente: Ruiz, 2000.

En la Tabla 3 se muestran las exigencias para el cemento asfáltico modificado usado en una mezcla drenante. Los ensayos están especificados en el Volumen 8 (ítem 8.301.6) del Manual de Carreteras (MOP, 2000), el cual no deberá calentarse a una temperatura superior a la indicada por el proveedor, a fin de evitar posibles daños del elastómero adicionado.

**Tabla 3 - Cemento Asfáltico Modificado con Polímero para Mezclas Drenantes.**

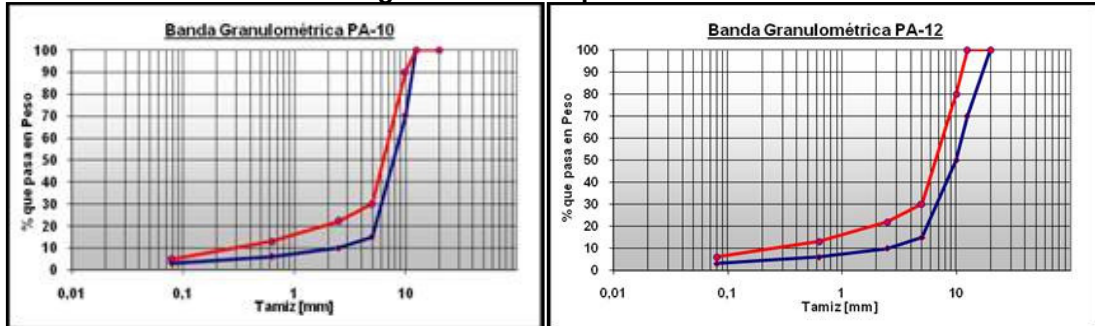
<i>Ensaye</i>	<i>Exigencia</i>	<i>Norma M.C. Vol 8</i>
Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg., 0,1 cm	60 – 80	8.302.3
Punto de Ablandamiento (°C)	Mín. 65	8.302.16
Ductilidad a 5°C, 5 cm/mín. (cm)	Mín. 50	8.302.8
Ductilidad a 25°C, 5 cm/mín. (cm)	Mín. 80	8.302.8
Índice de Penetración, IP	Mín. +4	8.302.21
Punto de Quiebre Fraass (°C)	Máx. -18	8.302.17
Recuperación Elástica (%)	Mín. 60	8.302.19

- **Áridos:** los áridos deberán clasificarse en al menos tres fracciones: gruesa, fina y polvo mineral (filler). Cada fracción debe cumplir lo siguiente:
  - **Fracción Gruesa:** corresponde a la fracción retenida en tamiz 2,5 [mm] (ASTM N°8) y deberá estar constituido por partículas chancadas, limpias y tenaces.
  - **Fracción Fina:** corresponde a la fracción que pasa por el tamiz 2,5 [mm] (ASTM N°8), la cual deberá estar constituida por agregados provenientes de la trituración de rocas o gravas.
  - **Filler:** deberá ser constituido por polvo mineral fino tal como cemento hidráulico, cal u otro material inerte de origen calizo, libre de materia orgánica y partículas de arcilla. El filler total deberá estar formado por un mínimo de 50% de aportación y el porcentaje restante proveniente del árido.
  - **GRANULOMETRIA:** las distintas fracciones de áridos deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla resultante cumpla con una de las bandas granulométricas denominadas PA-10 y PA-12 (ver Tabla 4 y Gráfico 1).

**Tabla 4 - Bandas Granulométricas para Mezcla Drenante.**

<b>TAMIZ (mm.)</b>	<b>TAMIZ ASTM</b>	<b>PA - 10</b>	<b>PA - 12</b>
<b>20</b>	¾"	-	100
<b>12,5</b>	½"	100	70 - 100
<b>10</b>	3/8"	70 - 90	50 - 80
<b>5</b>	N° 4	15 - 30	15 - 30
<b>2,5</b>	N° 8	10 - 22	10 - 22
<b>0,63</b>	N° 30	6 - 13	6 - 13
<b>0,08</b>	N° 200	3 - 5	3 - 6

**Gráfico 1 - Bandas granulométricas para mezclas drenantes en Chile.**



- Riego de Liga:** se aplicará como riego de liga una emulsión modificada con polímero, de modo de conseguir una mayor impermeabilización de la capa subyacente y una adecuada adherencia entre esa superficie y la capa de mezcla drenante. La dotación de ligante residual a emplear en el riego de adherencia será como se observa en la Tabla 5.

**Tabla 5 - Dotación de Riego de Liga.**

<b>SUPERFICIE SOPORTANTE</b>	<b>DOSIS MINIMA</b>
Mezcla bituminosa recientemente extendida.	0.30-0.40 [kg/m <sup>2</sup> ]
Mezcla bituminosa antigua en buenas condiciones.	0.35-0.50 [kg/m <sup>2</sup> ]
Mezcla bituminosa envejecida, con presencia de microfisuración.	0.50-0.60 [kg/m <sup>2</sup> ]

Para el procedimiento de trabajo con este tipo de mezcla, primero se debe realizar una preparación de la superficie existente, la cual debe asegurar una superficie impermeable libre de fisuras y con una planimetría que permita la evacuación del agua hacia los bordes.

En el diseño de la mezcla se utiliza principalmente el Método Cántabro (de acuerdo a la norma española NLT-352/86), además de ciertas restricciones referidas a la propiedad porosa de la mezcla. El contenido de ligante se dosificará de acuerdo a siguientes criterios (ver Tabla 6).

**Tabla 6 - Criterios de diseño del ligante.**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>EXIGENCIA (%)</b>	<b>ENSAYES</b>	<b>NORMAS</b>
<b>% Desgaste seco a 25°C</b>	Máx. 20	Cántabro Seco	8.302.54
<b>% Desgaste húmedo a 25°C</b>	Máx. 30	Cántabro Húmedo	8.302.55
<b>% Huecos</b>	Mín. 20 - Máx 25	% Huecos	8.302.47(LNV46)
<b>% Asfalto</b>	Mín. 4 – Máx. 5	-	-
<b>% Escurrimiento</b>	Máx. 3	Escurrimiento	NLT - 365
<b>Tiempo de evacuación</b>	Máx. 30 seg	Permeabilidad	8.302.44

La mezcla drenante se debe fabricar en planta en caliente. La temperatura de mezclado está determinada por la viscosidad del cemento asfáltico modificado. Se debe tener estricto control de la temperatura de mezclado debido a que este tipo de mezcla es más susceptible al escurrimiento de ligante que una mezcla tradicional.

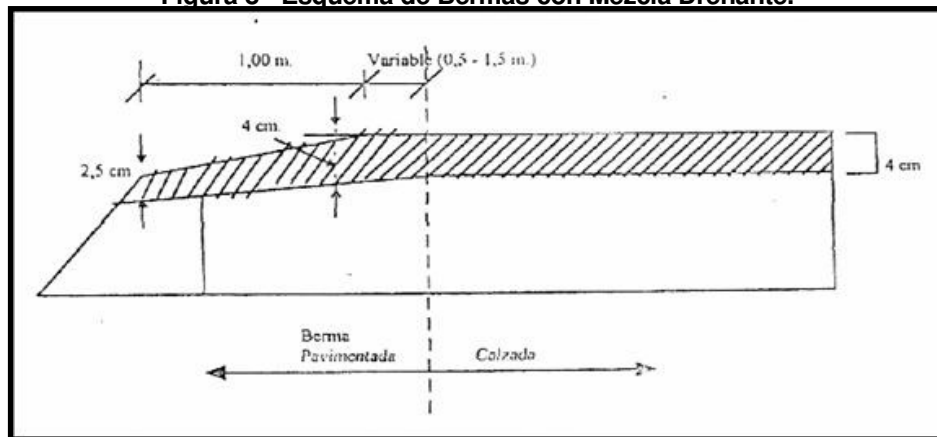
Sobre la compactación de la mezcla, ésta deberá realizarse con dos rodillos metálicos de 8 a 12 toneladas de peso sin vibración, para evitar cambio de granulometría en los áridos. Es conveniente que los rodillos sigan de cerca la extendedora (“finisher”), donde los tiempos disponibles para la compactación de la mezcla drenante son menores que en una tradicional. No se debe colocar mezcla drenante con lluvia, ni con temperatura ambiente baja, ni con viento.

Es de vital importancia que se extienda la mezcla a todo el ancho para evitar las juntas longitudinales (Bardesi, 1999). Si lo anterior no es posible, éstas deben coincidir con las líneas de separación de pistas. Está estrictamente prohibido que la junta no coincida con los carriles de rodadura. Dentro de los detalles constructivos, lo más importante a tener presente se muestra a continuación:

- Se debe evitar la terminación de la mezcla drenante contra elementos tales como soleras, zarpas en particular bordes no pavimentados que dificulten o impidan la salida del agua.

- Cuando no se extienda la mezcla drenante sobre la berma, para evitar una desnivelación brusca de 4 [cm] en el borde de la calzada, se debe prolongar en un sobrecancho biselado para transformar su espesor de 4 a 2,5 [cm] aproximadamente, cubriendo todo el ancho de la berma (ver Figura 8).

**Figura 8 - Esquema de Bermas con Mezcla Drenante.**



**Fuente: Delfin, 2007.**

Para la determinación de la densidad y el contenido de huecos de referencia se debe realizar una cancha de pruebas de 100 metros de longitud como mínimo. Según el Manual de Carreteras (MOP, 2000), son necesarias las siguientes acciones en esta cancha:

- Se determinará la densidad y el contenido de huecos de referencia para el control del tramo. Para ello, se realizarán medidas de evacuación del agua mediante permeámetro y en los mismos puntos se extraerán testigos sobre los que se determinará la densidad mediante medida geométrica y el contenido de huecos.
- Estas medidas deben realizarse sobre zonas con distintos niveles de compactación (2, 3, ó 4 dobles pasadas del rodillo liso), a objeto de establecer la relación entre el nivel de compactación y la densidad.
- En definitiva, en esta cancha se deberá establecer una correlación entre el número de pasadas del compactador, las mediciones realizadas con el

permeámetro y el porcentaje de huecos, de forma que durante la ejecución de la carpeta las mediciones con el permeámetro, puedan ser utilizadas como método de control.

Una forma de controlar la ejecución de este tipo de obras, es registrar la permeabilidad inicial de los pavimentos drenantes, la cual considera que:

- Las mediciones con el permeámetro LCS serán utilizadas como método de control, cada 500 metros por pista como mínimo.
- Se realizarán tres mediciones en distintos puntos de la sección transversal del camino: huella interna, centro y huella externa. Cada medición individual incluye dos medidas y se considera el promedio de ellas, si estas difieren de 10 segundos se debe realizar una tercera medida, promediando los dos valores más cercanos.

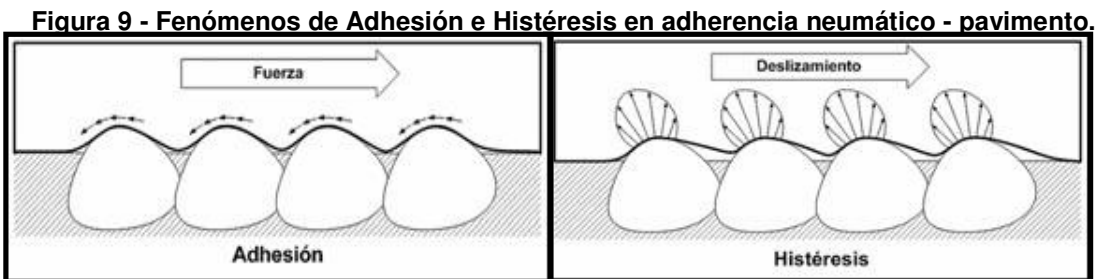
Cumpliendo todas estas especificaciones anteriores, la apertura al tráfico debe realizarse con la mezcla suficientemente fría (temperatura ambiente por ejemplo) debido a que las condiciones extremas de calor dificulta el enfriamiento de la mezcla. Desde el primer día de uso, los conductores son capaces de notar ventajas en términos de adherencia neumático-pavimento y visibilidad en condiciones tan adversas como lo puede ser la lluvia. El próximo capítulo expone cómo se producen estos fenómenos, además de mostrar a la mezcla drenante como opción para anular estos efectos.

## CAPÍTULO 4 LA ADHERENCIA ENTRE NEUMÁTICO Y PAVIMENTO

### 4.1 Introducción

La adherencia neumático-pavimento es una propiedad funcional de la superficie de una vía, que tiene relación directa con la seguridad, la cual permite que el vehículo conserve en todo momento su trayectoria (especialmente en las curvas), reducir las distancias de frenado en condiciones de control o de pánico y favorecer las maniobras de recuperación de trayectoria.

La literatura especializada (Cossalter, 2001) nombra dos mecanismos principales que describen la adherencia: **adhesión e histéresis** (ver Figura 9). La adhesión, que ocurre cuando los átomos de dos cuerpos en contacto desarrollan una pequeña fuerza electromagnética de atracción mutua, ayuda a la emergente aparición de fuerzas paralelas a la superficie de contacto, que se opondrán a cualquier movimiento relativo entre los dos cuerpos (fricción). Cuando el caucho del neumático se desliza sobre alguna irregularidad en la superficie del pavimento (lo cual provoca una deformación), después de ese paso el caucho tiende necesariamente a recuperar su forma original y retomar el contacto con la superficie normal, pero debido a la histéresis, este fenómeno no sucede de manera inmediata. El desfase mencionado induce a que el neumático esté en contacto de manera asimétrica con las continuas irregularidades (que podría tener una carpeta asfáltica cualquiera), generando así una distribución de presiones orientada en sentido contrario al deslizamiento, lo que contribuye a la fuerza de fricción total.



Fuente: <http://www.km77.com/tecnica/bastidor/adherencia/texto.asp>

Ambos fenómenos producen cambios energéticos en la banda exterior del neumático absorbiendo o liberando calor, lo que compromete a la adherencia al ser dependiente de la temperatura. Del mismo modo, estos mecanismos se ven alterados en presencia de agua, producto de la disminución de los puntos de contacto.

En condiciones de lluvia, la adherencia sufre serios cambios negativos en los conductores que circulan en pavimentos mojados. Se presenta entonces una pérdida de control debido a la capa superficial de agua, la cual denomina hidroplaneo. Si el agua arrojada en el pavimento aumenta su espesor, se produce un levantamiento del agua que ocasiona pérdida de visibilidad en los usuarios.

## 4.2 Hidroplaneo

El fenómeno de hidroplaneo puede producir el descontrol del vehículo, a pesar de las buenas maniobras que pueda realizar su conductor. Como bien es sabido, en estas condiciones se puede producir un accidente de tránsito, con o sin daños a las personas y/o a las cosas y/o animales, etc. Por todo lo anterior, estudiar este efecto es de vital importancia para ayudar al conductor a tomar buenas medidas cuando maneja en condiciones de lluvia.

Los neumáticos constituyen el único contacto del vehículo con el pavimento por el que se desplaza, y esto toma más importancia cuando la superficie está húmeda o tiene charcos de agua. El **patinar o hidroplanear** ocurre cuando la llanta o neumático no puede comprimir más la película de agua debajo de ella (en el área de contacto entre la rueda y el pavimento), levantándose de la pista por un efecto hidrodinámico; esto se debe a que al frente del neumático se acumula agua más rápido de lo que el peso del vehículo puede empujar la misma hacia fuera del camino (ver Figura 7). Ocurre por tanto una pérdida parcial o total del contacto o adherencia de las ruedas reduciendo el coeficiente de fricción (ya que el neumático deja de rodar sobre la calzada, quedando apoyado sobre la delgada capa de agua), por lo que afecta la maniobrabilidad del móvil.



En el momento de que sucede el hidropneado, el vehículo puede estar completamente fuera de contacto con el camino, y en peligro de patinar o desviarse fuera del carril por la falta de control del mismo. En esas condiciones la rodadura entre el neumático y el pavimento pasa a realizarse entre el neumático y el agua, disminuyendo a valores de adherencia muy bajos. Los valores del coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) pasan por ejemplo de una magnitud de 0,50; a valores tan bajos como 0,08<sup>2</sup>.

No se debe confundir el efecto del hidropneado con situaciones de acumulaciones de agua muy grandes. Cuando un vehículo ingresa a un charco de agua con profundidades mayores a 5 [cm], puede ocurrir que en lugar de hidropnearse avance hundiéndose en el charco, siendo frenado por la reacción de la fricción del agua con los neumáticos y por el impacto del agua lanzada por los neumáticos hacia atrás y a los lados. En esas condiciones los vehículos por ejemplo, al hundirse en profundidades del orden de 5 [cm], experimentan desaceleraciones de **1 [g]**, mucho más fuerte que las de un frenado en pavimento seco.

#### **4.2.1 Tipos de Hidropneado**

Existen dos tipos de hidropneado en automóviles bien diferenciados, estos son:

**Hidropneado viscoso:** Ocurre a velocidades relativamente bajas, debido al efecto de la viscosidad e inercia del agua que se opone a ser expulsada del área de contacto entre el neumático y el pavimento. Para que ello ocurra se deben presentar superficies de pavimento extremadamente lisas (por ejemplo cuando se presentan pavimentos con exudación o con áridos pulidos).

**Hidropneado dinámico:** Cuando se presenta una considerable capa de agua sobre el pavimento, para que se establezca contacto entre el neumático y este último, es necesario

---

<sup>2</sup> Ver Internet <http://www.aaba.org.ar/bi20op72.htm>

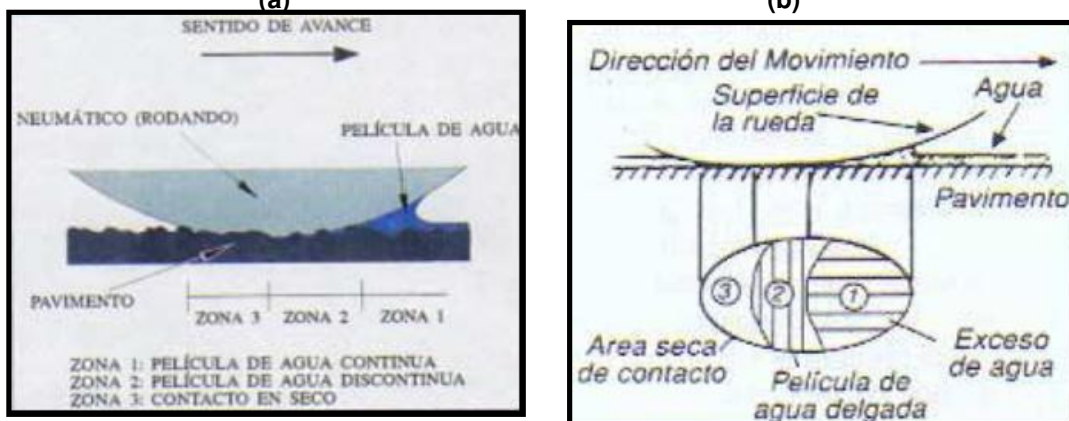
que se desaloje el agua hacia el frente o hacia los costados del área de contacto. En el frente de dicha área, donde el agua choca contra el neumático, se forma una cuña con una presión acorde al impulso transmitido por el neumático, capaz de penetrar en el área de contacto y sustentar parcialmente la carga vertical. Por sobre determinado espesor de agua y de velocidad característica, no existe más contacto entre el neumático y el pavimento, produciéndose el denominado hidropneado dinámico.

#### 4.2.2 Definiciones Básicas del Hidropneado

El hidropneado se puede explicar desde el punto de vista del contacto entre el neumático y el pavimento. Una publicación de la Fuerza Aérea Argentina acerca del hidropneado (2002) divide esto en **tres zonas distintas de contacto** (ver Figura 10):

- **Zona 1:** película de agua continua (zona de hidropneado dinámico).
- **Zona 2:** película de agua discontinua (zona de hidropneado viscoso).
- **Zona 3:** zona en que el agua es totalmente expulsada (teóricamente seca, cuyo rozamiento contribuye para la desaceleración y control direccional del móvil).

Figura 10 - Zonas de Contacto del Vehículo: (a) Vista Lateral, (b) Vista en Planta.



Fuente: Fuerza Aérea Argentina, 2002.

De las definiciones anteriores, se puede inferir lo siguiente: si la rueda estuviera parada, la zona seca se extendería a toda el área de contacto; si la rueda comienza a girar

sobre una pista mojada con microtextura lisa, se forma progresivamente la Zona 2, desarrollándose desde el frente hacia atrás reduciendo la Zona 3.

Cuando el espesor de la lámina de agua sobrepasa el valor crítico, con el aumento de la velocidad se desarrollan presiones dinámicas en el frente de la rueda y el agua gradualmente penetrará en el área de contacto (la Zona 1 aumenta a costa de la Zona 2). A medida que la velocidad va aumentando, la Zona 3 desaparecerá gradualmente y al mismo tiempo la Zona 1 se incrementará hasta llegar a cierta velocidad crítica en la cual ella misma cubrirá toda el área de contacto (fenómeno descrito anteriormente como hidropilado dinámico).

Para obtener una zona 3 de dimensión suficiente, hay que eliminar el agua rápidamente, por lo que se necesita una capacidad de evacuación mayor de la que proporciona el dibujo del neumático; esto se obtiene con una macrotextura del pavimento suficientemente abierta. En la zona 3 y en menor parte en la zona 2, la microtextura logra atravesar la película delgada de agua residual para producir puntos de contacto “en seco” y asegurar así la adherencia.

#### **4.2.3 Factores Asociados al Hidropilado**

Hay cinco factores principales que contribuyen fuertemente al hidropilado que se ordenan de menor a mayor importancia (Geretto, 2002):

- **Efecto de Viento:** es un efecto de tipo secundario, cuando el viento cruzado asociado a las lluvias provoca una aceleración transversal que tiende a sacar o desplazar al rodado de su carril al ser muy baja la adherencia por estar despegado de la calzada, provocando la ingobernabilidad del vehículo.
- **La velocidad del vehículo:** al aumentar la velocidad, la tracción sobre superficies mojadas se reduce bastante. Como los patinazos pueden resultar en la pérdida completa de tracción y control del vehículo, siempre se debe disminuir la

velocidad al manejar en condiciones de lluvia o si la carretera está húmeda. A medida que aumenta la velocidad, la zona del neumático que se apoya de hecho sobre el agua va aumentando, hasta que sobrepasada una cierta velocidad crítica el neumático se sube bruscamente del todo al agua, y ya no hay forma de activar un rozamiento con el pavimento: resulta imposible girar, frenar o acelerar, es decir, conducir, y el vehículo se mueve casi sólo bajo las leyes de la inercia. Se puede decir que existe una velocidad mínima de circulación para que pueda hidropianear un vehículo sobre la superficie de agua acumulada. Hay una discusión acerca de la velocidad a la cual comienza el hidropianeo, pero básicamente se puede aceptar que comienza a partir de velocidades de circulación mínimas comprendidas entre los 80 y 90 [km/hora].

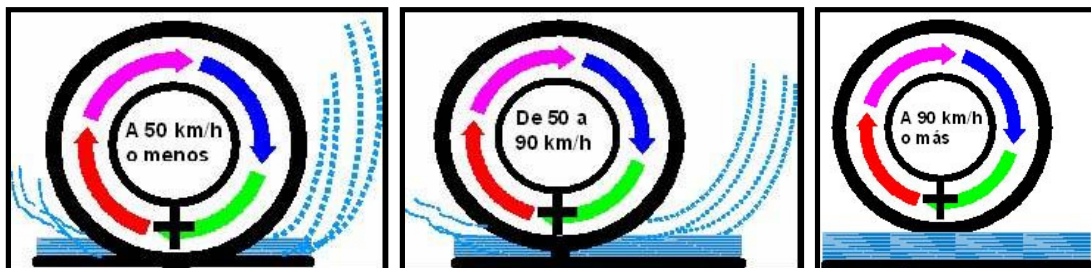
Generalmente se tiene lo siguiente según la velocidad del vehículo<sup>3</sup> (ver Figura 11):

- **Rociadura alta:** a baja velocidad, la llanta corta el agua en el punto de apoyo con el camino y se mantiene en contacto absoluto con la misma.
- **Rociadura más baja:** a más de 50 [km/h], la cuña de agua puede penetrar el punto de contacto de la llanta con el camino, produciendo un hidropianeo parcial.
- **Disminución de rotación:** a una velocidad de más de 90 [km/h], la cuña de agua puede aumentar y la llanta deja de tener contacto completo con el camino, produciendo hidropianeo total.

---

<sup>3</sup> Ver Internet <http://www.firestone.com.mx/index.asp?action=content.main&cID=4,119,120>

Figura 11 - Respuesta en lluvia del neumático según velocidad del vehículo: (a) Rociadura alta, (b) Rociadura más baja, (c) Disminución de rotación.



Fuente: <http://www.firestone.com.mx/index.asp?action=content.main&cID=4,119,120>

- **La profundidad de los dibujos e inflado del neumático:** El estado y tipo de dibujo de los neumáticos puede intervenir en retardar la velocidad de comienzo del hidroplaneo. Se logra mejorar la adherencia neumático-pavimento (de manera limitada) con dibujos más profundos y con formas que favorezcan la descarga del agua en la superficie de contacto con el neumático. Debe tenerse en cuenta que aún cuando las cubiertas se encuentren en perfecto estado, si la cantidad de agua acumulada excede la profundidad de los surcos de los neumáticos, se corre el riesgo de que aparezca el efecto de hidroplaneo.
- **La profundidad del agua:** mientras más profunda la cantidad de agua acumulada, más rápido se perderá tracción en el vehículo. Son causales de acumulación de agua, la deformación de la calzada tal como el **ahuellamiento** de la calzada de circulación, donde se pueden formar largos charcos de agua longitudinales de baja profundidad, el mal estado de los drenajes transversales y longitudinales de la vía o cualquier otro factor que genere acumulación anormal de agua sobre la calzada o vía de circulación.

- **Características del rozamiento según su textura:** es el factor que más se estudiará, ya que el rozamiento depende en gran manera de la calidad del pavimento, y es por tanto el mecanismo más eficaz de reducir los efectos del hidroplaneo. Esto se debe porque el agua caída y los vientos en ciertas zonas no los puede modificar el hombre, y tanto la velocidad como el estado de los neumáticos sólo dependen de la responsabilidad de los conductores, lo cual dificulta obtener soluciones de raíz para este efecto.

Ciertamente, un pavimento posee distintas cualidades según la acción externa y cantidad del agua almacenada en un camino. Estas se diferencian según la intensidad de la misma:

- **PISTA SECA:** la pista no está mojada ni contaminada (incluyendo las de pavimento poroso o ranurado), aunque tenga humedad.
- **PISTA HÚMEDA:** Cuando la superficie no está seca ni brillante.
- **PISTA MOJADA:** Acá la pista está cubierta con agua o su equivalente, lo suficiente para aparecer brillante, pero sin charcos significativos.
- **PISTA CONTAMINADA:** La cual tiene más el 25% de su superficie cubierta con: más de 3 [mm] de agua o su equivalente en nieve, nieve compactada o hielo, o hielo mojado.

El rozamiento de una pista mojada es considerablemente inferior al de una pista seca. Cuando una fina película de agua permanece en el área de contacto neumático-pavimento, se reduce a valores despreciables el principal componente del rozamiento que es debido a la adherencia.

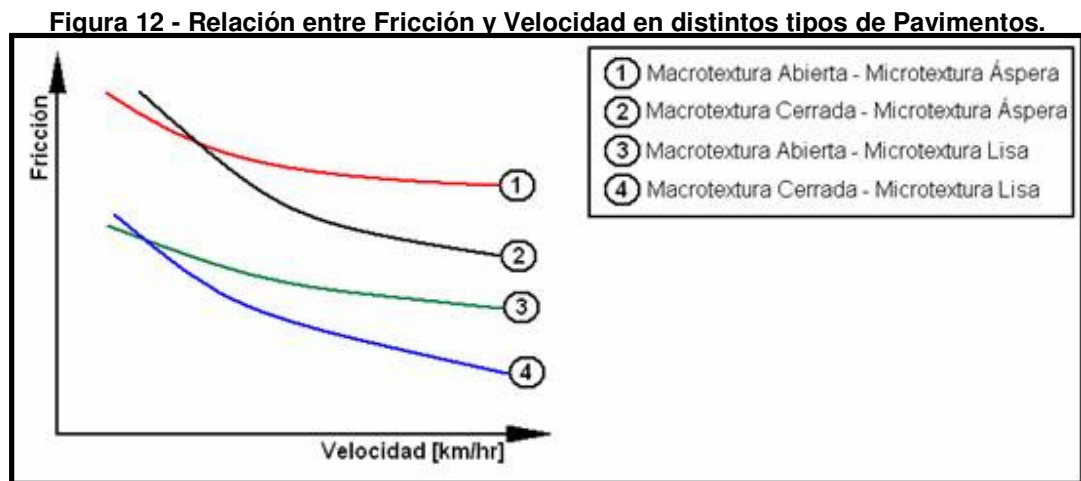
El fenómeno antes expuesto se debe a que no puede expulsarse completamente el agua que se encuentra entre el neumático y la pista, lo que da como resultado un contacto sólo parcial entre estas dos superficies. Para obtener un elevado coeficiente de

rozamiento en una pista mojada o cubierta de agua es, por lo tanto, necesario que se desplace o rompa la película acuosa que se interpone durante el lapso en que cada elemento del neumático está en contacto con la pista. A medida que la velocidad aumenta, se reduce el tiempo de contacto y disminuye la posibilidad de que el proceso se complete por lo que la pista resulta más resbaladiza.

Se pueden dar cuatro combinaciones distintas entre macrotextura abierta o cerrada, y microtextura áspera o lisa:

- **Macrotextura cerrada – Microtextura lisa:** Cuando la superficie está seca proporciona valores de coeficiente de fricción muy altos (pérdida de energía cinética por adherencia). Cuando está húmeda o mojada el coeficiente de fricción es muy bajo, tanto a bajas como altas velocidades.
- **Macrotextura abierta – Microtextura lisa:** Cuando la superficie está seca se obtienen valores del coeficiente de fricción comparables con el primer caso expuesto. Cuando está húmeda puede ocurrir hidropneumático viscoso pero las velocidades no serán tan bajas como en el caso a). Para que ocurra hidropneumático dinámico se necesita una capa mayor de agua en superficie.
- **Macrotextura cerrada – Microtextura áspera:** Cuando la superficie está seca los valores del coeficiente de fricción son levemente inferiores al caso a). Cuando está húmeda la superficie, las asperezas perforan la fina película de agua y puede prevenir el hidropneumático viscoso pero no impide la posible ocurrencia de hidropneumático dinámico cuando está inundada.
- **Macrotextura abierta – Microtextura áspera:** Cuando la superficie está seca, la pérdida de energía por adherencia es inferior que si fuese lisa, pero se compensa con el aumento de resistencia por deformación. Cuando la pista está mojada la microtextura áspera previene la ocurrencia de hidropneumático viscoso, mientras que la macrotextura abierta previene la ocurrencia de hidropneumático dinámico hasta determinado espesor de la capa de agua.

En la Figura 12 se pueden apreciar las cuatro configuraciones previamente definidas, y su respectiva fricción según la velocidad del vehículo.



Fuente: Fuerza Aérea Argentina, 2002.

#### 4.2.4 Recomendaciones para evitar Hidroplaneo

Puede ocurrir que el conductor inexperto circule un tramo sin notar la falta de adherencia y que recién ante una maniobra imprevista se percate de que no tiene pleno dominio del vehículo, o bien que ante una frenada de emergencia descubra que la distancia de frenado sea inconvenientemente mayor. Para evitar este efecto es importante considerar lo siguiente:

- Los neumáticos deben tener una adecuada presión de inflado, con surcos o dibujos de una correcta profundidad y forma.
- Es recomendable circular por las rodadas del vehículo que transita adelante.
- Cuando por efecto de la lluvia el pavimento comience a estar mojado se debe disminuir inmediatamente la velocidad, ya que al inicio de una lluvia, el agua se mezcla con finos, manchas aceitosas y otras partículas en la superficie del pavimento que disminuye de forma notable la adherencia del neumático.



Si ya se está bajo el efecto del hidropneumático, en ese momento se sugiere tomar las siguientes medidas:

- Debe evitarse en todo momento frenar bruscamente ya que ello, con seguridad, producirá el patinaje del vehículo y por consiguiente la falta de dominio del mismo.
- Evitar los giros o maniobras bruscas con el manubrio.
- Bajar la velocidad en forma suave, es decir, levantando el pie del acelerador hasta conseguir la suficiente adherencia de los neumáticos.
- Girar el volante en la dirección del patinazo. Al recobrar el control, enderezar las ruedas suavemente.
- Si se necesita aplicar los frenos, se debe hacer suavemente con movimientos de arriba hacia abajo. Si el vehículo tiene frenos antibloqueo (ABS), entonces aplicar los frenos de manera normal ya que la computadora del vehículo imitará los movimientos de arriba-abajo.
- Es importante estar alerta ante cualquier señal que indique que el vehículo ha comenzado a estar bajo el efecto de hidropneumático, tales como síntomas que denoten que el vehículo no tiene suficiente agarre o buen frenado.

#### **4.2.5 Alternativas de Solución para el Hidropneumático**

El rozamiento en la superficie de una pista afectada por el agua puede interpretarse como un problema generalizado de la evacuación del agua, que comprende tres niveles: drenaje superficial (forma de la superficie), drenaje de agua en la interfaz neumático-pavimento (macrotextura) y drenaje de fluidos por penetración (microtextura). Las mezclas drenantes, debido a su macrotextura abierta y si los áridos no son pulidos, permiten drenar en los tres niveles antes descritos garantizando un retraso en la formación de una película de agua de más de 6 [mm] de espesor.

- **Drenaje Superficial:** es sumamente importante ya que sirve para reducir al mínimo la acumulación de agua en la superficie y su profundidad misma. Para ello es necesario proveer el pavimento con pendientes y lisuras adecuadas. La capacidad de drenaje puede aumentarse mediante tratamientos superficiales tales como ranuras transversales.
- **Drenaje en la interfaz Neumático-Pavimento:** tiene por objetivo lograr una descarga rápida de agua desde la parte inferior del neumático con un mínimo aumento de la presión dinámica; esto sólo puede obtenerse mediante una superficie con una macrotextura abierta. Dado que este proceso es sumamente sensible a la velocidad, la macrotextura es particularmente importante para proporcionar roce suficiente en la gama de altas velocidades.
- **Drenaje por penetración:** tiene por objeto establecer un contacto “seco” entre las asperezas de la superficie y el relieve del neumático en presencia de una película de agua delgada y viscosa, cuyas presiones aumentan con la velocidad y tienden a evitar el contacto directo. Este efecto adverso puede atenuarse con una microtextura áspera, evitando los áridos pulidos.

Al respecto es necesario destacar que mientras la macrotextura sufre escasas alteraciones con el transcurso del tiempo, la microtextura puede cambiar dentro de periodos breves sin poder detectarse fácilmente.

- **Uso adecuado de Señalizaciones:** dado que el hidropneumático es un fenómeno no conocido por el común de los conductores, es necesario informar mediante avisos y señales visibles los límites de velocidad máximos que deben respetarse en casos de acumulación de agua sobre la calzada. Debe destacarse que la moderna tecnología digital ha permitido habilitar señalamiento y avisos luminosos modificables en función de las circunstancias, lo cual ayuda notablemente al desempeño de los conductores. La velocidad máxima debería

ser del orden del 70% de la velocidad de inicio de hidropilano, cuya magnitud es aproximadamente 60 [km/hr] (si hay hielo esta condición es insuficiente).

- **Conservación y Seguimiento de Caminos:** un buen programa de conservación y seguimiento de pavimentos ayuda a evitar el hidropilano. Verificar el estado de los drenajes, la deformación de la calzada (ahuellamiento) y la ocurrencia de las precipitaciones, son aspectos importantes que atañen a este problema.

### 4.3 Efecto Neblina

Para entrar en este tema es necesario diferenciar dos fenómenos que se presentan cuando pasa un auto en un pavimento mojado: el levantamiento (en inglés se denomina “splash”) y la pulverización o efecto neblina (“spray”). Dichos efectos están muy ligados al hidropilano, ya que si existe una película de agua en el pavimento, y dependiendo de su espesor, se producirá pulverización, y si hay mucha agua acumulada, aparecerá el levantamiento de este fluido.

La pulverización o “spray” se produce en casos tan límites como los bólidos de la Fórmula Uno, cuya relación peso-potencia (aproximadamente 600 [kg] de peso y 800 [hp]) se escapa de los rangos de un automóvil común y corriente (ver Figura 13).

**Figura 13 - Efecto neblina en autos de carrera de Fórmula 1.**



Fuente: <http://www.superiorphotos.net/jordan-12x16-water-spray-web%202.jpg>

Este efecto antes mencionado afecta de manera negativa la condición funcional de un pavimento. Esta “neblina”, que causa problemas de seguridad a los demás vehículos que circulan por la carretera, depende exclusivamente del drenaje superficial de la carpeta de rodado y la macrotextura de la superficie.

En carretera, los vehículos que circulan delante emiten esta lluvia fina y sucia, que aumentan en los adelantamientos de los vehículos de transporte. Cuando se está ante esta situación, se debe realizar la maniobra con los limpiaparabrisas a máxima velocidad.

Los charcos pueden ocultar hielo o agujeros peligrosos y las lluvias torrenciales reducir la visibilidad a cero. Si a todos estos fenómenos se le suma una humedad alta que empaña los vidrios del parabrisas, los de las ventanillas laterales y los de atrás, impidiendo que el conductor vea con claridad el exterior, se comprenderá la razón de por qué tantos conductores sufren accidentes en días de lluvia.

#### **4.3.1 Mezclas Drenantes frente al Efecto Neblina**

Es sabido que las mezclas drenantes presentan una mejor resistencia al deslizamiento que las convencionales a alta velocidad, y especialmente en presencia de agua, producto de su capacidad de eliminación de agua y gran macrotextura. Sin embargo, a pesar de la mejora de la resistencia al deslizamiento, se han hecho estudios sobre estadísticas de accidentes en Holanda y Francia que muestran que las mezclas drenantes son iguales de seguras que una mezcla densa convencional (Ruiz, A., s.a.). La idea inicial de que esta nueva configuración de mezcla es más segura no se refleja en la práctica, puesto que la psicología del conductor compensa las mejoras del camino con cambios en sus hábitos de conducción solamente.

Se pueden contrastar claramente algunas de las ventajas que presentan las capas de rodadura drenante frente a los pavimentos convencionales, ya que elimina de forma efectiva el agua proyectada y pulverizada por el paso de los vehículos (ver Figura 14).

**Figura 14 - Comparación de proyección de agua en: (a) Pavimento Tradicional, (b) Pavimento Poroso.**



Fuente: Miro, 2006.

Sin lugar a dudas que este es uno de los efectos más espectaculares y a la vez más prácticos de este tipo de pavimento. El agua se introduce en el interior de la capa y es drenada lateralmente, con lo que se consigue mantener la superficie libre de agua y se elimina por completo su proyección y salpicadura debido al paso de los vehículos. Esto repercute de manera beneficiosa sobre la visibilidad y seguridad del conductor (Miró, 2006).

#### **4.3.2 Formas de evitar el Efecto Neblina en Vehículos**

Los vehículos pesados o camiones son los que más proyecciones de agua dejan ante su paso. Para estos se han desarrollado sistema de antiproyección, cuyo propósito es reducir la pulverización de agua proyectada hacia arriba por los neumáticos del vehículo en movimiento. La Comunidad Económica Europea los divide según los casos en (CEE 91/226, 1991):

- **Guardabarros:** Elemento rígido o semi-rígido destinado a detener las proyecciones de agua proyectadas por los neumáticos en movimiento y a dirigirlas hacia el suelo. El guardabarros podrá ser, entera o parcialmente, parte integrante de la carrocería o de otros elementos del vehículo como la parte inferior de la superficie de carga (ver Figura 15).
- **Faldilla Posterior:** Elemento flexible de dispositivo antiproyección fijado verticalmente detrás de la rueda, en la parte inferior del chasis o de la superficie de carga o en el guardabarros.
- **Dispositivo Antiproyección:** Parte del sistema antiproyección que podrá constar de un separador aire / agua y un absorbedor de energía. El primero se refiere a un elemento que forma parte de la faldilla exterior y/o de la faldilla posterior a través del cual puede pasar al aire, reduciendo así la proyección de agua pulverizada, y el último forma parte del guardabarros y/o de la faldilla posterior y/o de la faldilla exterior que absorbe la energía de las proyecciones de agua y disminuye así las proyecciones de agua pulverizada.
- **Faldilla Exterior:** Elemento situado en un plano aproximadamente vertical y paralelo al plano longitudinal del vehículo. La faldilla exterior puede formar parte integrante de un guardabarros o de la carrocería del vehículo.

**Figura 15 - Uso de guardabarros en camiones.**



Fuente: Sepúlveda, s.a.

## **CAPÍTULO 5 SEGUIMIENTO APLICADO A LAS MEZCLAS DRENANTES EN ESTUDIO**

En este capítulo se presenta el método de seguimientos de los tramos con mezcla asfáltica drenante ubicados entre las ciudades de Temuco - Cholchol y Valdivia - Paillaco. El primero es un tramo experimental, mientras que el último es parte de una obra en esa zona. Primeramente se registra la posición y las características geográficas más importantes de cada tramo experimental en estudio. Seguido de esto se muestra un mapa de las rutas en cuestión. Los detalles geométricos tales como ancho de pista, de berma y de SAP (sobreebanco de plataforma) no pudieron ser registrados debido a la actual falta de planos del diseño vial de los tramos.

Se detalla la estructura de pavimento de cada tramo y se analiza las características tanto de los áridos como del ligante en las mezclas drenantes. Además se muestra las granulometrías y los ensayos de desgaste usados para determinar el diseño óptimo de las mezclas en cuanto a la cantidad de asfalto. En este caso, el ensayo de pérdida por desgaste es el Cántabro, el cual utiliza la máquina de Los Ángeles para la caracterización mecánica de la mezcla. Se realiza tanto en Seco como en Húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva tanto del tránsito como de la influencia del agua respectivamente. Mientras mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas (Rebollo, 2000). Como resultado de este ensayo, se obtiene el porcentaje de pérdida en peso de la probeta, referido a su peso original.

La cantidad de ligante modifica las características de permeabilidad de las mezclas. Por esto se detallará el porcentaje de huecos geométricos que poseen las mezclas al ser analizadas ciertas probetas en laboratorio.

Se hizo un catastro del tránsito medio diario anual (TMDA) de las rutas estudiadas. El TMDA, que mide el flujo anual (según tipo de vehículo) dividido por 365 días, sirve para planificación de infraestructura, evaluación económica de proyectos y

análisis de capacidad. Para efectos de esta memoria, que abarca condiciones funcionales de los tramos, se usarán estos datos para observar las tasas de crecimiento total según los registros anuales que se obtengan, y con esto calcular la cantidad de pasadas de vehículos que han sufrido cada uno de los tramos, con el fin de detectar si la succión de los neumáticos “limpia” naturalmente los poros de la mezcla, permitiendo más drenabilidad cuando hay lluvia.

Se realizó una búsqueda de los datos de agua caída en cada zona. Los registros se miden con un pluviómetro, instrumento que mide la cantidad de agua precipitada en un determinado lugar. La unidad de medida es en milímetros. Una precipitación de 5 [mm] indica que si toda el agua de la lluvia se acumulara en un terreno plano sin escurrir ni evaporarse, la altura de la capa de agua sería de 5 [mm]. Los milímetros son equivalentes a los litros por metro cuadrado. Todos los datos fueron obtenidos del Centro de Información de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.

Además del agua caída, se podría comparar esto con el promedio mensual de temperaturas mínimas diarias, para observar en que mes era más susceptible el congelamiento superficial de agua, la cual debido a su aumento de volumen provoca pérdida de material en la carpeta de rodadura. Sin embargo, el acceso al registro de estos datos no estaba disponible.

## **5.1 Ensayos In Situ**

En una carpeta de rodadura hecha con mezcla drenante, generalmente se realizan mediciones de permeabilidad y de fricción del pavimento. Durante la vida útil de estos dos tramos, se le han practicado una serie de ensayos para observar la evolución de los pavimentos ante el desgaste del tráfico. En Temuco - Cholchol existen antecedentes de permeabilidad y mediciones de coeficiente de fricción realizadas con el equipo SCRIM, mientras que en Valdivia - Paillaco se realizaron ensayos de permeabilidad y mediciones con péndulo británico.



### 5.1.1 Determinación de Permeabilidad In Situ

Este ensayo, que está normalizado en el Volumen 8 del Manual de Carreteras, sección 8.302.44, se realizó con un permeámetro LCS (ver Figura 16), el cual se sitúa en el punto elegido para el ensayo y se le coloca un peso teórico sobre la base. Posee dos marcas en su tubo transparente, donde se llena de agua. Se anota el tiempo de evacuación, en segundos, que tarda el nivel de agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

**Figura 16 - Permeámetro LCS de carga variable.**



Fuente: Manual de Carreteras (Volumen 8), 2003.

### 5.1.2 Determinación del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento en el Pavimento con Péndulo Británico

Para este ensayo, que está normalizado en el Manual de Carreteras (punto 8.602.24), primeramente se deben reconocer claramente los siguientes conceptos:

- **Resistencia al Deslizamiento:** se refiere a la fuerza que se desarrolla a lo largo de la superficie de un pavimento, cuando una rueda está frenada o impedida de girar.

- **Coefficiente de Fricción Dinámico:** corresponde a la razón entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza normal a la superficie donde el cuerpo desliza.
- **Coefficiente de Roce Transversal:** este coeficiente se calcula de la medición de los equipos que poseen una rueda que gira libremente pero con una desviación respecto del sentido de desplazamiento del vehículo, lo que genera la aparición de fuerzas normales en dicha rueda, constituyéndose en el coeficiente de fricción, pero en esta oportunidad, de tipo transversal.

En Chile se asumen como sinónimos los siguientes conceptos: coeficiente de fricción, coeficiente de roce, coeficiente de resistencia al deslizamiento, coeficiente de resbalamiento. Estos términos, dependiendo del equipo utilizado o posición de los equipos al momento de determinar este parámetro, podrán acompañarse de alguna característica en particular (entre otros, de tipo longitudinal, transversal, etc.)

Entendiendo todo lo anterior, se puede decir que este ensayo busca obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, pueda valorar las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija (ver Figura 17). Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que las medidas de CRD o BPN (“British Pendulum Number”) son siempre afectadas por variaciones de temperatura de la superficie ensayada. Para uniformar los datos, existen correcciones de los valores para normalizarlos y expresarlos a 20 °C.



**Figura 18 - Vistas Generales del Camión SCRIM.**



Fuente: Manual de Carreteras (Volumen 8), 2003.

## 5.2 Inspección Visual

Se hizo un catastro de todas las posibles fallas del tramo experimental ubicado en Temuco - Cholchol, fundado en el registro de una serie de fotos que muestran el estado del pavimento actual. Para completar el estudio, se agregará una monografía que esquematiza la evolución del pavimento hasta este año, según el Catálogo de Deterioro de Pavimentos (MOP, 2000).

En tanto, según el seguimiento de Valdivia – Paillaco, las condiciones del pavimento son óptimas, por lo que se acotará este ítem a la muestra de fotos del tramo solamente.

## 5.3 Comparación entre Tramos

Es indispensable primeramente comparar ambos tramos según las características de la mezcla dadas en laboratorio al momento del diseño de las mezclas (método de desgaste Cántabro y cantidad de huecos de aire según el porcentaje de ligante). Además, se contrasta las granulometrías, la calidad de los áridos y el porcentaje de ligante en cada tramo.

Se compara los TMDA de cada ruta con el propósito de contrastar los volúmenes de tránsito según tipo de vehículo. Con esto se calcularán las pasadas de vehículos que han sufrido estas mezclas drenantes.

Otro de los temas importantes de contrastar es el efecto de las lluvias en términos de la pluviometría y la permeabilidad de los tramos experimentales. Con esto se obtienen importantes conclusiones sobre este fenómeno climático que es una de las principales causas naturales de accidentes de tránsito, y la razón de la construcción de las mezclas drenantes.

Con los datos obtenidos de permeabilidad se pueden calcular teóricamente los huecos interconectados que parten desde la superficie del pavimento hacia el interior de la carpeta. Según una ecuación dada por la revista española “RUTAS” (Ruiz et al, 1990), se tiene que:

$$H = 58.6 \cdot T^{-0.305} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

H: porcentaje de huecos interconectados de la mezcla.

T: tiempo de evacuación del agua, en segundos.

Sobre los ensayos que cuantifican la calidad de los pavimentos en el ámbito de la fricción, hay estudios en la actualidad que lograron correlaciones del péndulo británico (CRD) con el parámetro del ensayo SCRIM (SFC). Solminihaç et al, en la publicación de Marzo del 2004 de la Revista BIT, recopila tres correlaciones hechas por organismos competentes en el tema (ver Tabla 7).

**Tabla 7 - Correlaciones entre péndulo británico (BPN) y SCRIM (SFC).**

<b>PAIS</b>	<b>CORRELACION</b>
<b>Reino Unido</b>	SFC = 0.0095 * CRD
<b>Nueva Zelanda</b>	SFC = 0.0071 * CRD + 0.033
<b>Chile</b>	SFC = 0.0139 * CRD - 0.228

Estas correlaciones se mejoran cuando se agrega el efecto de la macrotextura de la superficie de rodadura, medido a través del círculo de arena (ver Figura 19). Este ensayo consiste en la dispersión de un volumen conocido de arena sobre una superficie de pavimento limpia y seca, donde se puede calcular el espesor promedio entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2} \quad (\text{ec. 2})$$

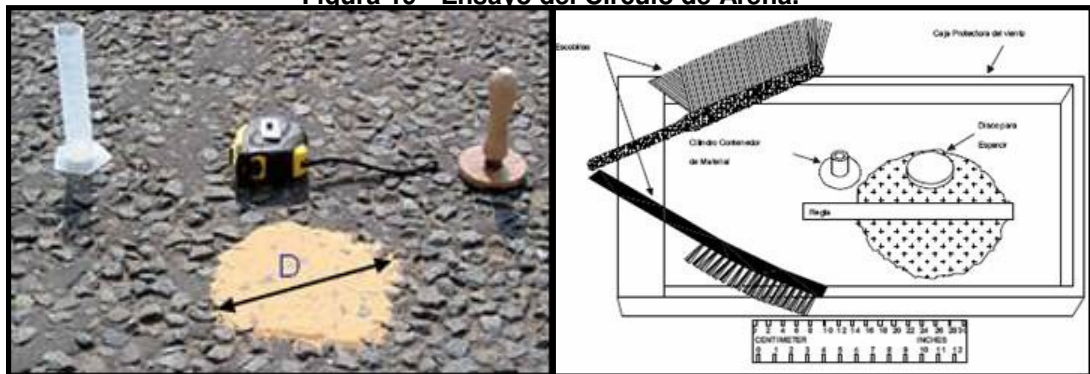
Donde:

H : promedio del espesor de la macrotextura en la superficie.

V : volumen conocido de arena.

d : diámetro promedio del área circular cubierta por el material.

**Figura 19 - Ensayo del Círculo de Arena.**



**Fuente: Manual de Carreteras (Volumen 8), 2003.**

Sin embargo, estudios del Instituto Mexicano de Transporte (“Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México”, 2001) aseguran que este método de prueba no es conveniente para utilizarse en pavimentos con vacíos grandes (mayores a 2,5 [mm]), caso que claramente cae en superficie de rodadura drenante. Por tanto, solamente se usará la correlación chilena dada en la Tabla 8 para comparar estos ensayos.

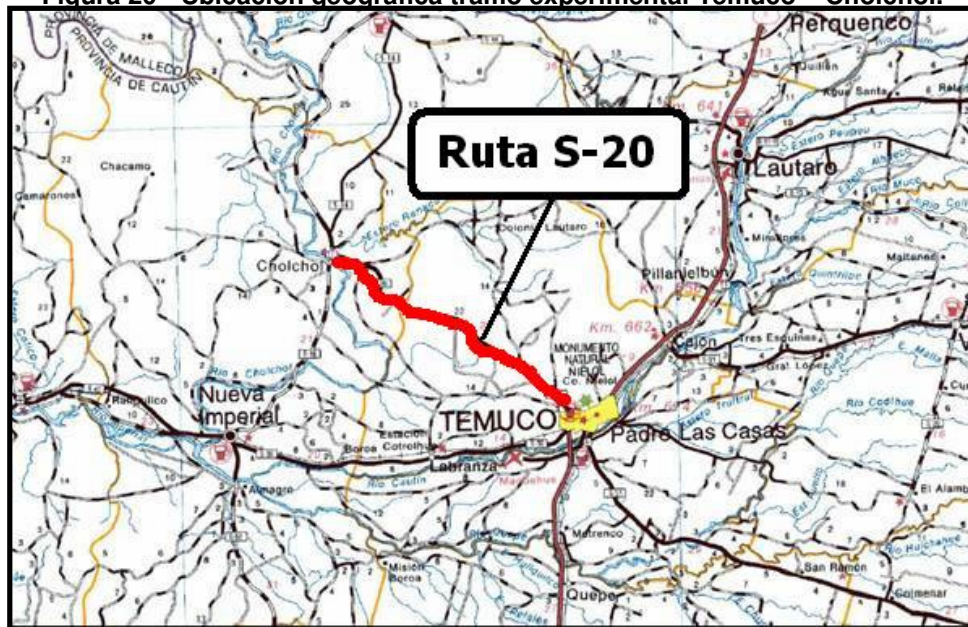
## CAPITULO 6 APLICACIÓN DE SEGUIMIENTO

### 6.1 Temuco – Cholchol

El tramo experimental Temuco – Cholchol tiene dos pistas y una longitud de un kilómetro. Se encuentra en la Ruta S-20 (ver Figura 20), exactamente entre el kilómetro 8.000 y 9.000 de ésta. El camino se emplaza en un área cercana a la Cordillera de la Costa, entre las subcuencas de los ríos Cautín, Cholchol e Imperial. Se caracteriza por tener precipitaciones frecuentes las cuales se registran principalmente en los meses de invierno.

Este tramo, cuya estructura se encuentra a nivel de terreno, fue construido el año 1999. Es recto y posee buenas obras de drenaje, cuñas laterales de 50 [cm] de ancho promedio hacia las bermas, además de no tener pendiente longitudinal.

**Figura 20 - Ubicación geográfica tramo experimental Temuco – Cholchol.**



Fuente: Cartas Camineras, MOP.

#### 6.1.1 Características de la Mezcla

La empresa contratista de esta obra fue Becker-Bitumix y el proveedor del ligante asfáltico fue la empresa Probisa. El contrato consistía en la construcción de una nueva estructura de pavimento asfáltico, al cual en el kilómetro indicado le fue agregado estos 4 [cm] de carpeta drenante (ver Figura 21), y a continuación de este sector se realizó un doble tratamiento superficial (DTS). Se aplicó como riego de liga (entre la carpeta asfáltica y la carpeta drenante), una emulsión modificada de 0,4 [kg/m<sup>2</sup>] de quiebre lento sin diluir, de forma de obtener mayor impermeabilización entre estas dos capas.

**Figura 21 - Estructura Pavimento en tramo experimental Temuco – Cholchol.**



El tamaño máximo del árido es de ½ pulgada y la banda granulométrica usada en este caso fue la PA-10. Los áridos usados en esta mezcla presentan las siguientes características dadas en la Tabla 8.

**Tabla 8 - Áridos en Tramo Temuco – Cholchol.**

<i>Características de los Áridos (%)</i>	
<b>Coefficiente de Desgaste Los Ángeles (LNV 75)</b>	14,8
<b>Chancado (LNV-3)</b>	99,1
<b>Lajas (LNV-3)</b>	3,0



La granulometría y otras características físicas de todos los componentes de los áridos (Gravilla 1/2'', Arena y Filler), se exponen en la Tabla 9.

**Tabla 9 - Granulometría componente de áridos en Tramo Temuco – Cholchol.**

<b>Tamiz</b>		<b>% que pasa</b>		
<b>ASTM</b>	<b>[mm]</b>	<b>Gravilla 1/2''</b>	<b>Arena</b>	<b>Filler</b>
<b>1/2''</b>	12,5	100	100	100
<b>3/8''</b>	10	78	100	100
<b>Nº 4</b>	5	12	96	100
<b>Nº 8</b>	2,5	2	91	100
<b>Nº 30</b>	0,63	1	80	100
<b>Nº 200</b>	0,08		30	99
<b>Características Físicas</b>				
<b>Densidad Real Seca [Kg/m<sup>3</sup>]</b>		2672	2611	2797
<b>Índice de Plasticidad</b>		NP	NP	NP

Los porcentajes en peso de los componentes de los áridos son: gravilla 1/2'' con 88 %, arena con 10 %, más un 2% de aportación de filler (cemento hidráulico). Por tanto, la granulometría de la mezcla total de áridos, su banda de trabajo y la especificación (PA-10) se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10 - Granulometría de mezcla de áridos tramo Temuco - Cholchol.**

<b>Tamiz</b>		<b>% que pasa</b>		
<b>ASTM</b>	<b>[mm]</b>	<b>Mezcla Áridos (88/12)</b>	<b>Banda de Trabajo</b>	<b>Especificación PA-10</b>
<b>1/2''</b>	12,5	100	100	100
<b>3/8''</b>	10	81	76-86	70-90
<b>Nº 4</b>	5	22	18-26	15-30
<b>Nº 8</b>	2,5	13	8-12	10-22
<b>Nº 30</b>	0,63	10	8-12	6-13
<b>Nº 200</b>	0,08	4	3-5	3-6

El asfalto es modificado con elastómero del tipo SBS y la mezcla se realizó en una planta en caliente. Sus principales características se detallan en la Tabla 11, donde se puede ver que el ligante usado en este caso cumple ampliamente las normas especificadas en la Tabla 4 (sólo el punto de quiebre de Fraass está en el máximo de tolerancia).

Tabla 11 - Características principales asfalto en tramo Temuco - Cholchol.

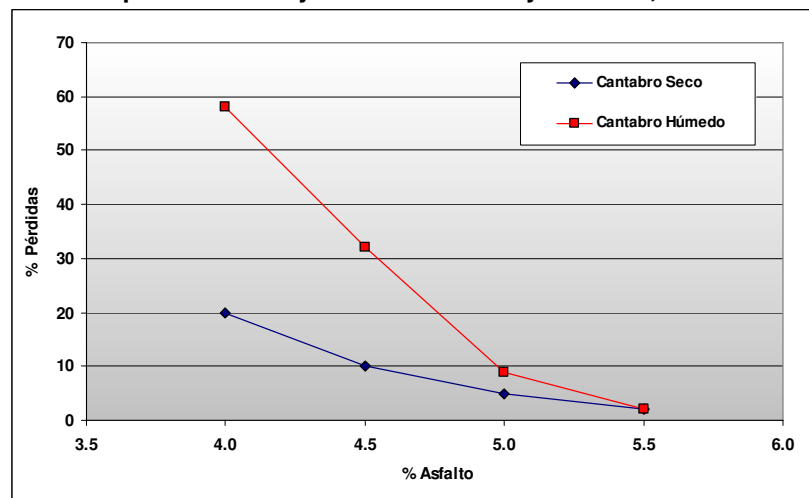
<b>Asfalto Modificado del tipo SBS</b>	
Penetración 25 °C, 1/10 mm., 5 seg.	78
Punto de Ablandamiento, °C	93
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	105
Índice de Penetración	6
Punto de Quiebre Fraass, °C	-18
Intervalo de Plasticidad, °C	111
Recuperación Elástica, %	72
Viscosidad a 135 °C, cst	1854
Temperatura de Mezcla, °C	188
Temperatura de Compactación, °C	178

Para la dosificación de asfalto de la mezcla, se confeccionaron probetas con un porcentaje de ligante entre 4,0 y 5,5 %. La mezcla asfáltica se diseñó con método Cántabro Seco y Húmedo (ver Tabla 12 y Gráficos 2 y 3). Adicionalmente, se probaron las permeabilidades de las muestras a través del permeámetro.

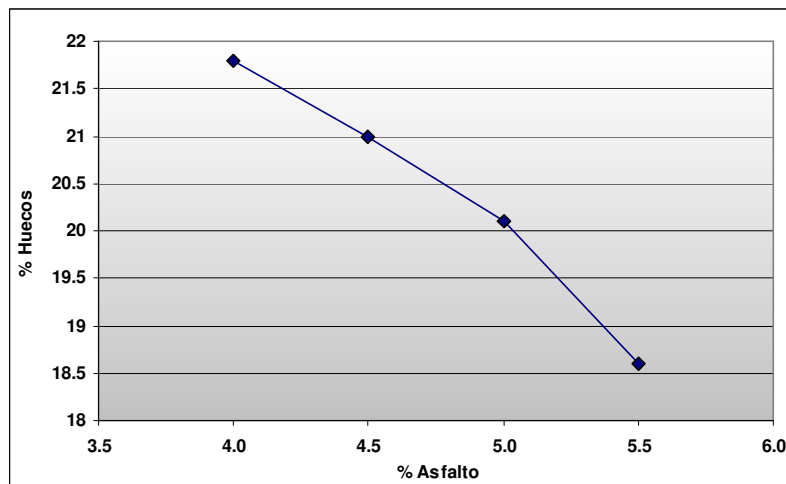
Tabla 12 - Características del asfalto con distintos porcentajes.

<b>Dosificación de la Mezcla</b>					<b>Especificación</b>
% de Asfalto	4,0	4,5	5,0	5,5	-
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1983	1990	1998	2022	-
Cántabro Seco (%)	20	10	5	2	< 20 %
Cántabro Húmedo (%)	58	32	9	2	< 30 %
% de Huecos	21,8	21	20,1	18,6	entre 20 y 25 %
Permeabilidad [s]	22,8	28,3	30,8	37,6	< 30 [s]

Gráfico 2 - Comparación ensayo Cántabro Seco y Húmedo, Temuco - Cholchol.



**Gráfico 3 - Porcentaje de Huecos según Cantidad de Asfalto, Temuco - Cholchol.**

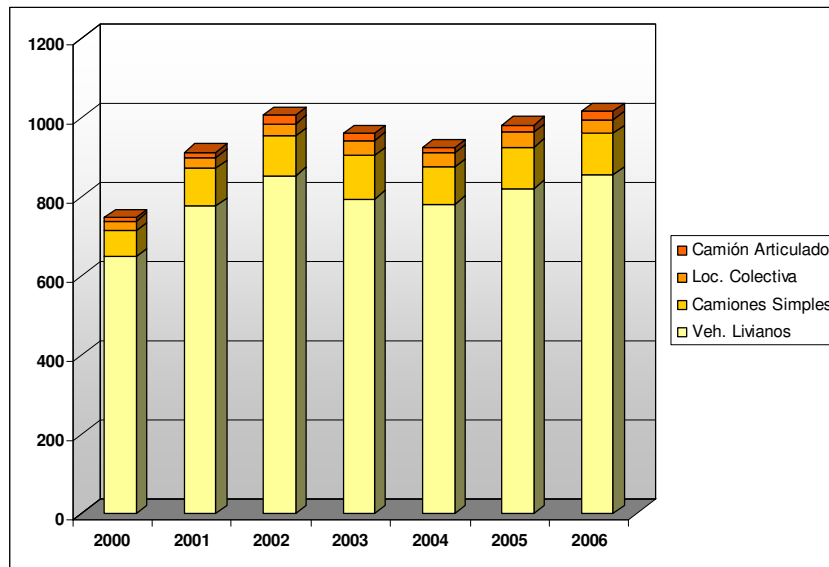


Con estos datos se diseñó la mezcla con 4,7 % de asfalto, con una tolerancia de +/- 0,2 %. Este valor proviene de una sucesivas interpolaciones y promedios dados por las especificaciones de estas mezclas (ensayo Cántabro Seco y Húmedo con tolerancia de 20 y 30 % de desgaste respectivamente, más una restricción de 20 % mínimo de índice de huecos).

### 6.1.2 TMDA

Para obtener el TMDA de esta ruta, se usaron los datos recogidos de la página web de Vialidad - Chile. La toma de datos de esta ruta (S-20) se ubicó en el kilómetro 21, y fue medido mediante equipos clasificadores, los cuales son espiras puestas en el pavimento, que clasifican los vehículos según número y distancia entre ejes y los cuentan en los 365 días del año, durante las 24 horas. Como el sistema a veces no reconocía un tipo de eje y lo designaba como “no clasificado”, lo que se hizo fue repartir proporcionalmente este valor en los otros tipos de vehículos. También como estos equipos toman datos mensuales, en algunos meses no se tenían registros, por lo que se reemplazó esos valores por cifras similares de meses contiguos. Los valores desde 2000 al 2006 se reportan en el Gráfico 4:

**Gráfico 4 - TMDA tramo Temuco – Cholchol.**



**Fuente: Equipos Clasificadores, MOP.**

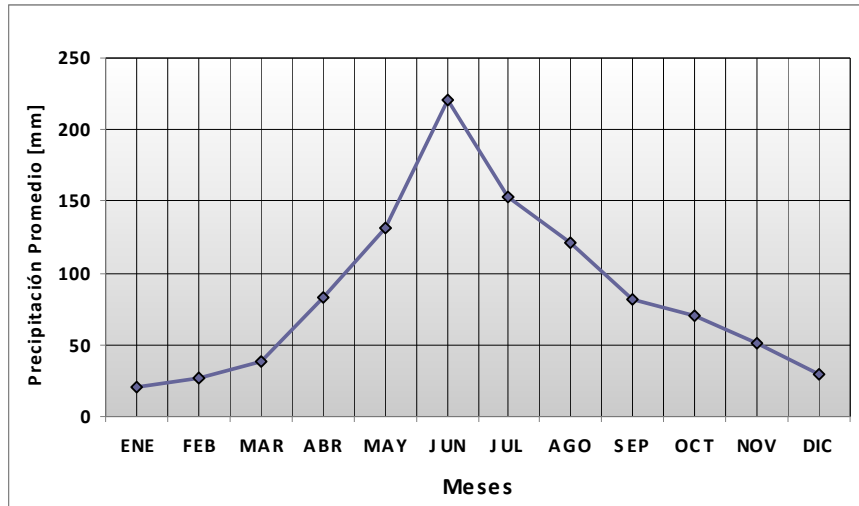
Para ver la forma del crecimiento del TMDA de todos los vehículos, se optó por calcular una línea de tendencia que diera mayor coeficiente de correlación  $R^2$ , en este caso la relación óptima fue lineal. El valor de la ecuación, referenciado según los años de servicio del tramo es:

$$TMDA_{Tem-Cho} = 31.68 \cdot x + 811.43 \quad (R^2 = 0.5522) \quad (\text{ec. 3})$$

### 6.1.3 Pluviometría

Se buscaron registros de precipitaciones mensuales desde el 2000 hasta el año 2007 (ver Gráfico 5). Los datos son en milímetros y recogidos mediante el pluviómetro perteneciente a la Dirección General de Aguas de Chile. Se observa claramente que entre mayo y agosto se presentan precipitaciones mayores a los 100 [mm], con un máximo el mes de junio de más de 200 [mm]. Otro dato importante de mencionar es que en promedio llueve un poco más de 1000 [mm] por año, y según los registros de los últimos 8 años, este valor anual varía entre los 750 y 1200 milímetros de agua aproximadamente.

**Gráfico 5 - Pluviometría mensual promedio en Temuco (2000 – 2007)**



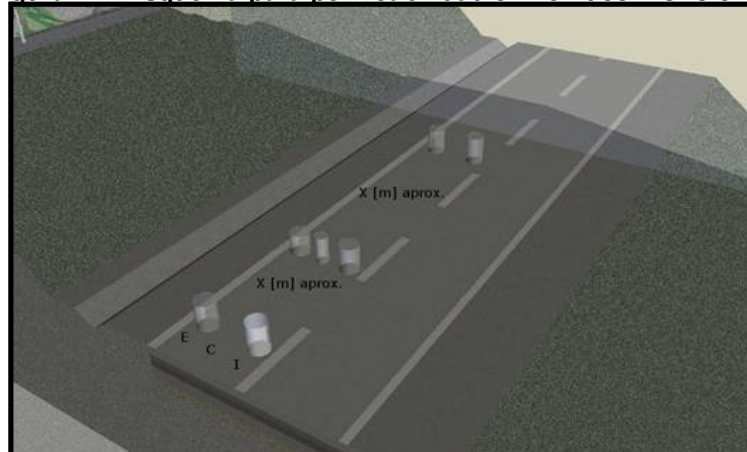
Fuente: Dirección General de Aguas.

## 6.1.4 Ensayos In Situ

### 6.1.4.1 Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad se realizó en las dos pistas, donde cada una se dividía transversalmente en tres zonas: interior, centro y exterior. Estos sectores se denominan con las letras “I”, “C” y “E” respectivamente. En cada ubicación se medía dos veces la permeabilidad y se tomaba el promedio, teniendo en cuenta que el ensayo en el centro se iba realizando una por medio (ver Figura 22).

**Figura 22 - Esquema para permeabilidad en Temuco – Cholchol.**



La ficha que se debía llenar, más el detalle del lugar de la toma de datos se muestra a continuación en la Tabla 13.

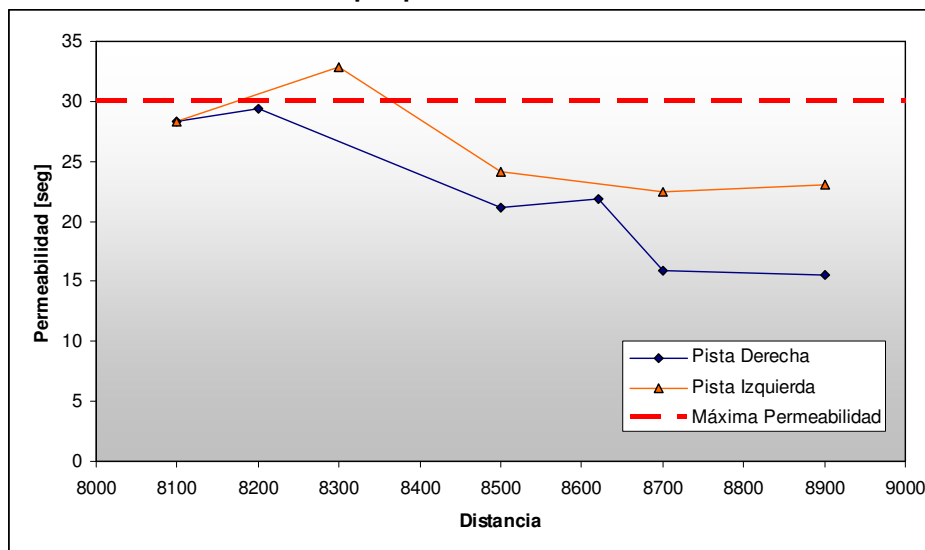
**Tabla 13 - Posiciones exactas para permeabilidad en Temuco – Cholchol.**

PISTA DERECHA KM.	Observación	MEDIDA EXTERIOR		MEDIDA INTERIOR		MEDIDA CENTRAL	
		seg	seg	seg	seg	seg	seg
8100	Entrada a Camino de tierra						
8200	Sin Entradas					NO	NO
8500	Entrada a Casas Particulares						
8620	Entrada a Casas Particulares					NO	NO
8700	Sin Entradas						
8900	Sin Entradas					NO	NO

PISTA IZQUIERDA KM.	Observación	MEDIDA EXTERIOR		MEDIDA INTERIOR		MEDIDA CENTRAL	
		seg	seg	seg	seg	seg	seg
8100	Sin Entradas						
8200	Entrada a Casas Particulares					NO	NO
8500	Sin Entradas						
8620	Sin Entradas					NO	NO
8700	Entrada a Casas Particulares						
8900	Sin Entradas					NO	NO

En el año 0 de su construcción, se realizó un ensayo de permeabilidad, el cual según especificación del Manual de Carreteras debía ser menor a 30 segundos su tiempo de evacuación. Promediando los valores de cada sector de las pistas, se muestran los resultados en el Gráfico 6.

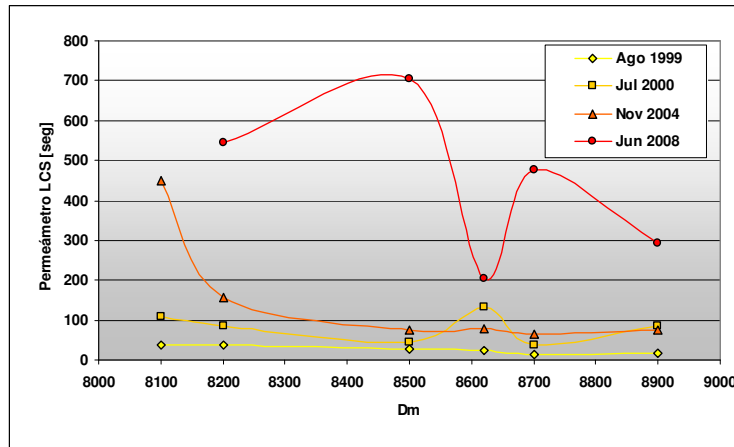
**Gráfico 6 - Permeabilidad por pista en año 0 tramo Temuco - Cholchol.**



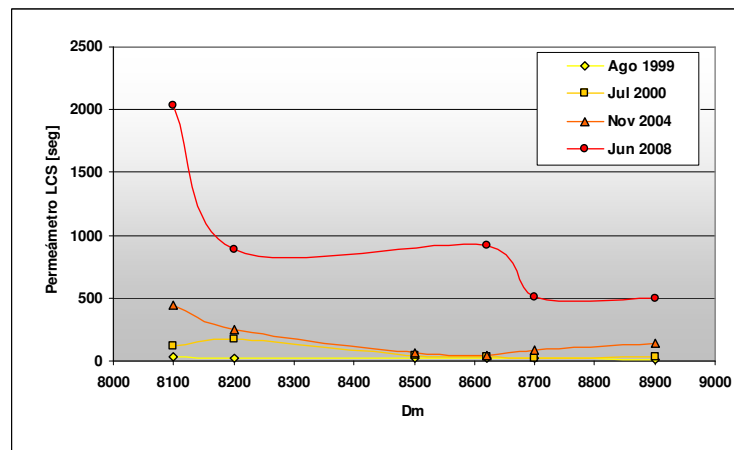
Se observa que los tiempos de evacuación son aceptables en la mezcla al momento de su instalación, donde sólo en un punto de la pista izquierda no se cumplió con el requisito máximo.

Adicionalmente. se tienen registros de cada pista y cada zona de pista (exterior, interior y centro) desde su año de construcción (1999), pasando por el año 2000, 2004 y el último ensayo realizado en Junio de este año (Gráficos 7, 8, 9, 10, 11 y 12).

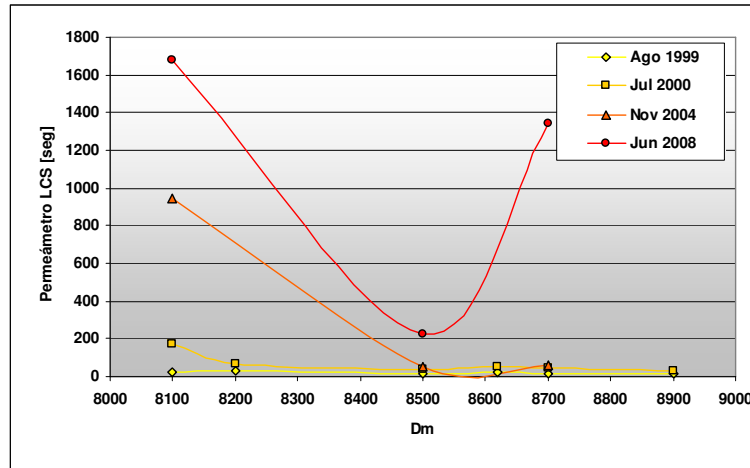
**Gráfico 7 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Exterior, Temuco – Cholchol.**



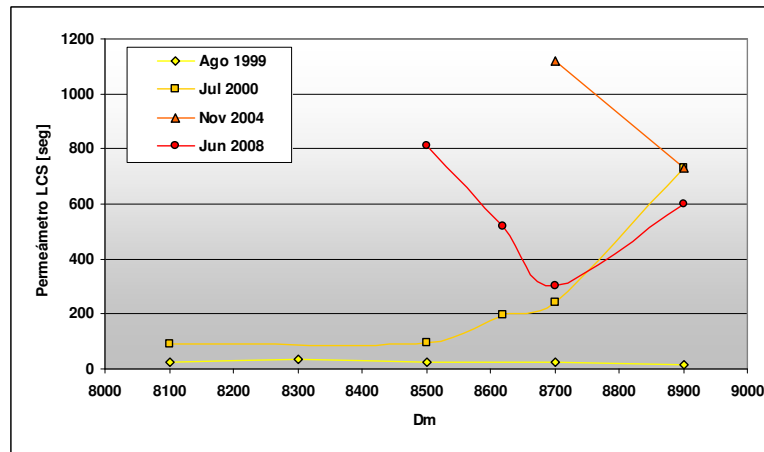
**Gráfico 8 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Interior, Temuco - Cholchol.**



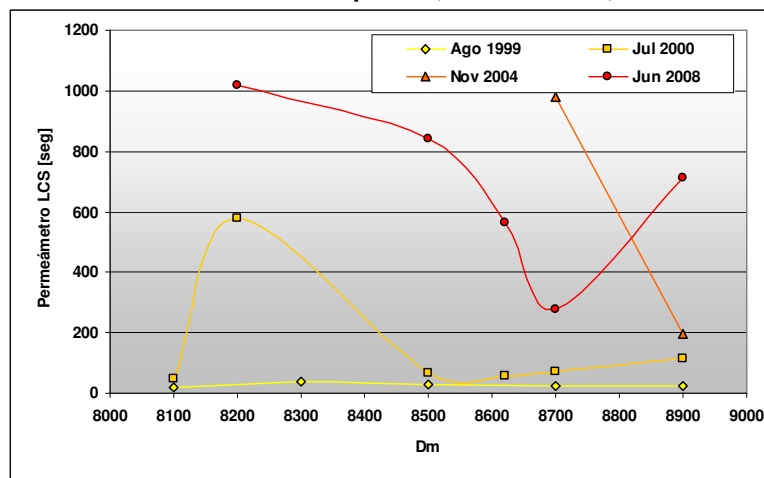
**Gráfico 9 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Centro, Temuco - Cholchol.**



**Gráfico 10 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Exterior, Temuco - Cholchol.**

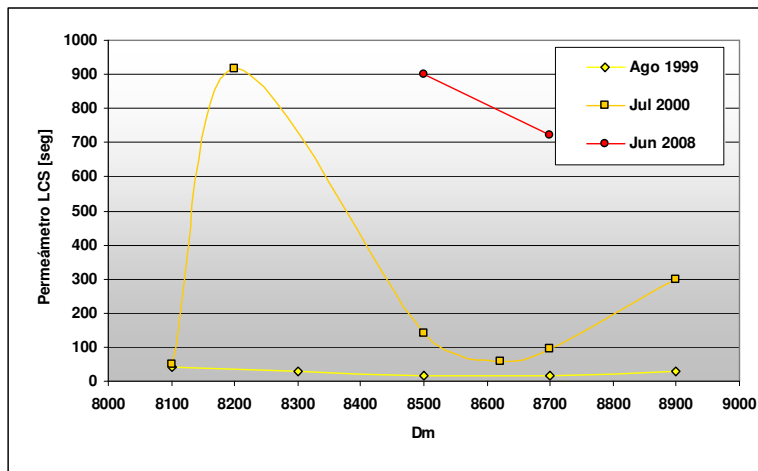


**Gráfico 11 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Interior, Temuco - Cholchol.**





**Gráfico 12 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Centro, Temuco - Cholchol.**



De los gráficos anteriores, se puede inferir que existe una gran dispersión de los datos, que van en aumento con el correr de los años, por lo que los comportamientos no siguen un patrón definido. Esta irregularidad en los datos se puede explicar tanto por las múltiples salidas a predios (cuyos accesos son de tierra), como por el uso de carretas y otros vehículos no motorizados que ensucian los poros superficiales, impidiendo la interconexión de los mismos.

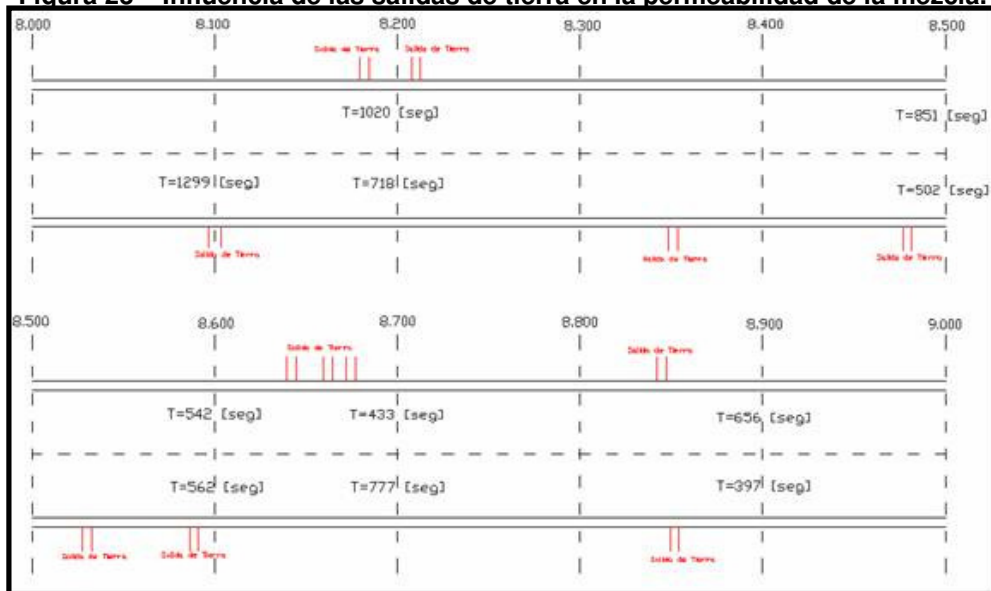
La única tendencia observada es la pérdida casi sistemática en el tiempo de la permeabilidad (demora más segundos en evacuar el agua del permeámetro), la cual en los casos de las tomas de datos de los últimos dos años no es así producto de que la penúltima fue tomada en noviembre del 2004, fecha en que no hay muchas lluvias, lo que impide una limpieza natural de los huecos de la mezcla mediante las mismas precipitaciones constantes que ocurren en un mes de junio por ejemplo, mes en que fue recogido el último registro de este ensayo.

También se observa un mejor comportamiento en la pista izquierda que en la derecha (en cerca de un 20% en promedio), a pesar de que en años anteriores ocurría lo contrario, con diferencias de más del doble entre los años 2000 y 2004. Este hecho se

puede deber a un cambio en la distribución de tránsito por pista, creación de nuevas salidas de predios o drenajes longitudinales mal conservados.

Si se toman los promedios transversales de los puntos de medición de cada pista hechos el 2008, y observando las salidas de tierra que tiene el camino en este tramo, se puede observar la influencia de estos últimos en los resultados de permeabilidad (ver Figura 23).

**Figura 23 – Influencia de las salidas de tierra en la permeabilidad de la mezcla.**



Mientras más sucia está la mezcla con los poros colmatados, más segundos demorará el permeámetro en desalojar el contenido de agua medido en el pavimento. En la figura anterior los máximos valores (Km. 8.100 pista derecha y Km. 8.200 pista izquierda) concuerdan con salidas de tierra en ese sector. El arrastre de material orgánico a través de las carretas tiradas por animales, hace que en otras partes del tramo también la permeabilidad disminuya. Además se observó en un punto específico que el valor era muy bajo, pero esto no se debió a que estaba en mejor condiciones la carpeta, sino que existían grietas y fisuras que hacían evacuar el agua de forma más rápida.

En el último registro de datos del ensayo de permeabilidad en Temuco – Cholchol (2008), se llevaron dos permeámetros LCS: un equipo traído desde Santiago (perteneciente al Laboratorio Nacional de Vialidad) y otro del Laboratorio Regional de Temuco (IX Región). El primero poseía una goma blanda (que se coloca entre el equipo mismo y el pavimento), el cual debido a su poca rigidez, era capaz de deformarse de tal forma de ajustarse más a los poros superficiales de la carpeta porosa, haciendo que el drenaje en la mezcla (que estaba considerablemente colmatada y sólo podía evacuar agua por la macrotextura abierta de la misma) mostrara altos tiempos de evacuación del agua. En tanto, el equipo de Temuco (que era una imitación hecha en Chile del instrumento del LNV importado de España), tenía una goma más dura y rígida que permitía drenajes más rápidos, dando en general resultados 4,8 veces menores en magnitud comparado al primero (ver Tabla 14).

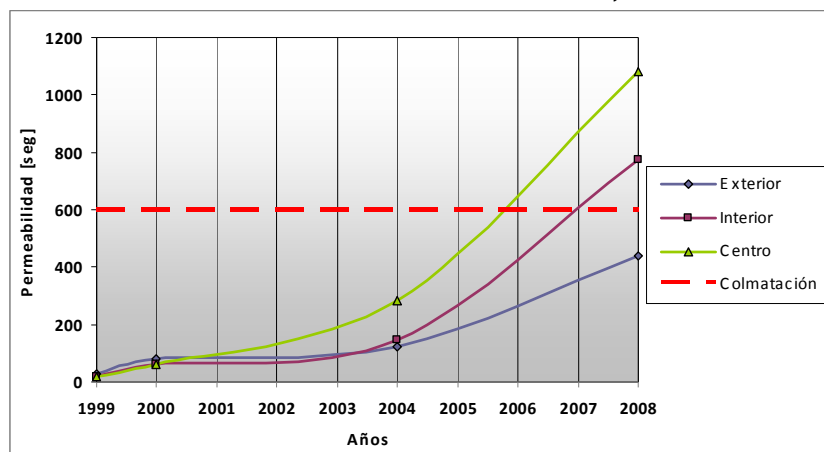
**Tabla 14 - Resultados Permeabilidad Temuco – Cholchol, año 2008.**

PISTA DERECHA	MEDIDA EXTERIOR [seg]			Relación LR IX / LNV	MEDIDA INTERIOR [seg]			Relación LR IX / LNV
	Equipo LNV (goma dura)	Equipo LR IX (goma blanda)			Equipo LNV (goma dura)	Equipo LR IX (goma blanda)		
8100	134	223	-	-	-	-	> 2040 (7,5 cm)	-
8200	-	-	546	-	119	186	891	5,84
8500	228	-	705	3,09	123	575	-	-
8620	120	-	204	1,70	73	-	919	12,59
8700	183	-	475	2,60	246	-	513	2,09
8900	111	-	294	2,65	122	-	499	4,09
	Promedio			2,51	Promedio			6,15

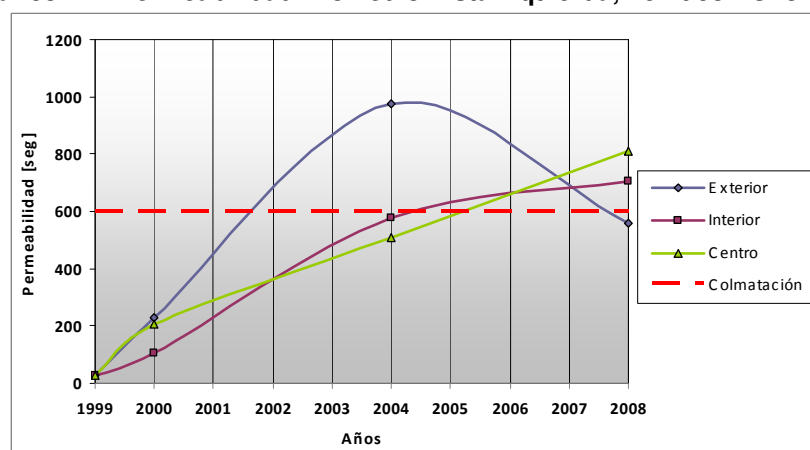
PISTA IZQUIERDA	MEDIDA EXTERIOR [seg]			Relación LR IX / LNV	MEDIDA INTERIOR [seg]			Relación LR IX / LNV
	Equipo LNV (goma dura)	Equipo LR IX (goma blanda)			Equipo LNV (goma dura)	Equipo LR IX (goma blanda)		
8100	-	-	-	-	-	-	-	-
8200	no drena		-	-	1068	-	1020	0,96
8500	84	-	812	9,67	225	-	842	3,74
8620	111	-	520	4,68	86	-	564	6,56
8700	88	-	302	3,43	112	-	278	2,48
8900	69	-	600	8,70	116	-	713	6,15
	Promedio			6,62	Promedio			3,98
<b>Promedio Total Relación LR IX Región/ LNV</b>								<b>4,815</b>

Según Revista “RUTAS” (1990), se considera que un pavimento drenante está colmatado cuando el ensayo con el permeámetro arroja resultados superiores a los 600 segundos, es decir, el pavimento demora más de 10 minutos en evacuar las aguas de su superficie. Si se obtienen los promedios de permeabilidad del tramo completo en los años en que fueron registrados estos datos (sin considerar los máximos y mínimos, para evitar las dispersiones antes referidas), se pueden observar tendencias más definidas de funcionamiento de este pavimento (ver Gráficos 13 y 14).

**Gráfico 13 - Permeabilidad Promedio Pista Derecha, Temuco - Cholchol.**



**Gráfico 14 - Permeabilidad Promedio Pista Izquierda, Temuco - Cholchol.**



Los gráficos anteriores indican que la pista derecha se comporta de forma tal que en las huellas de los automóviles (zona exterior e interior de la pista) drena más fácil el pavimento, por el teórico efecto de succión de los neumáticos al avanzar en lluvia, ayudando así en el retroceso en el proceso de colmatación. Esto obviamente no sucede en el centro de la pista, lugar de la pista en que menos tránsito pasa.

En la pista izquierda la zona exterior varía en su tendencia creciente en su último año, producto quizás por una mala toma de datos en año 2004, o simplemente por el irregular comportamiento de la drenabilidad en este tramo explicado anteriormente.

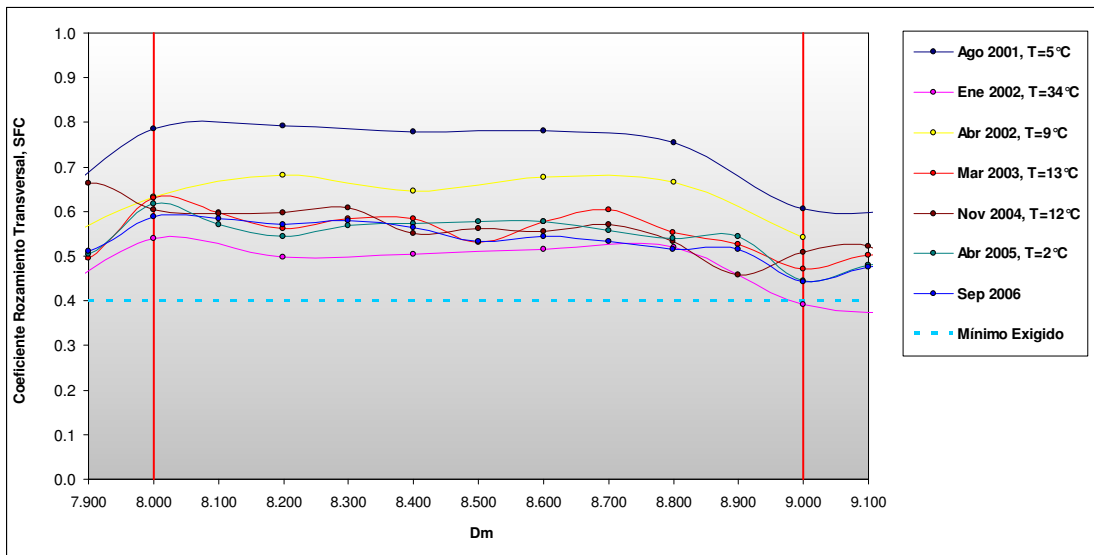
En general, se puede decir que a partir año 2005, es decir, con la mezcla a 6 años de su puesta en marcha está colmatada. Esto contrasta con los 10 años en promedio en que se espera que funcionen correctamente las mezclas drenantes como carpeta de rodadura.

#### **6.1.4.2 SCRIM**

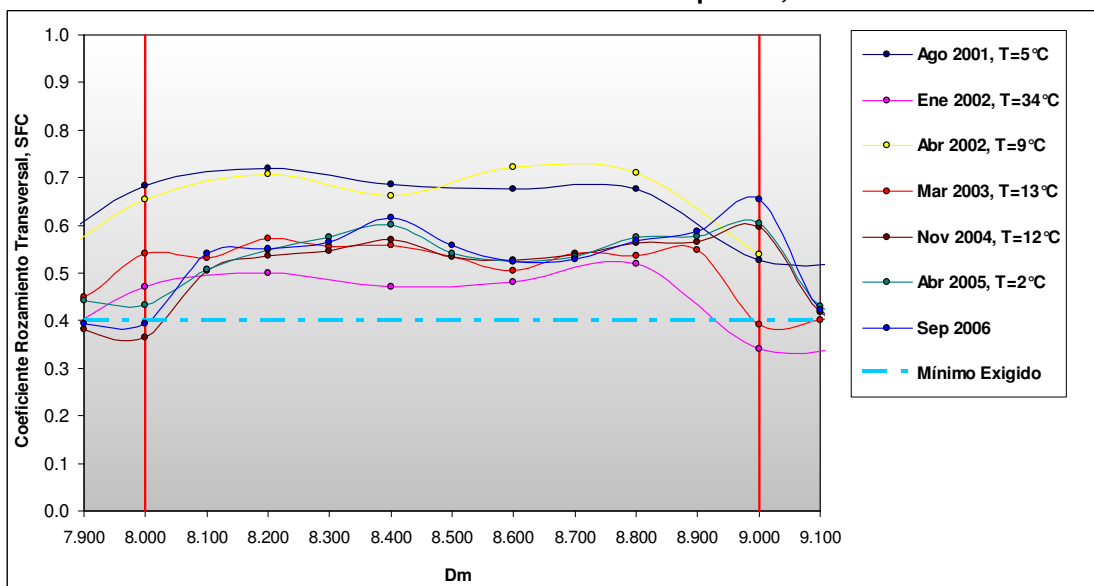
El ensayo con el equipo SCRIM fue realizado cada 100 metros en el tramo de la ruta donde la superficie de rodadura tiene mezcla drenante, en cada unas de las dos pistas. Además de esto, se tienen datos de antes y después de este tramo experimental, a fin de comparar el comportamiento de la mezcla asfáltica en estudio con una mezcla convencional y un doble tratamiento superficial respectivamente.

Primeramente, se presentan los coeficientes de roce transversal (SFC) del tramo experimental en cada pista pertenecientes a los años: 2001, 2002 (dos registros), 2003, 2004 y 2006 (ver Gráficos 15 y 16). Conjunto con eso se grafica el mínimo SFC de un sector sin singularidades que el Volumen 5 del Manual de Carreteras (sección 5.408.303(3)) acepta al momento de la entrega de un camino recién construido.

**Gráfico 15 - Coeficiente Roca Transversal Pista Derecha Temuco - Cholchol.**



**Gráfico 16 - Coeficiente Roca Transversal Pista Izquierda, Temuco - Cholchol.**

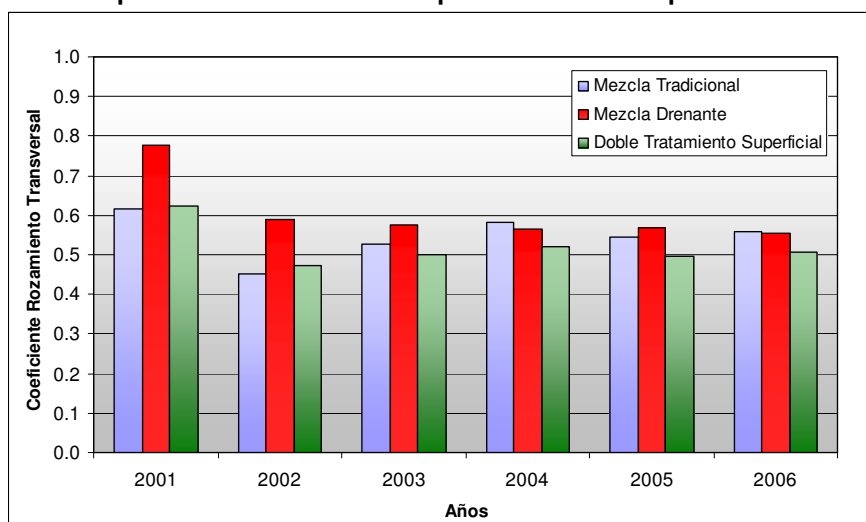


Sobre la pista derecha e izquierda se infiere que con los años va tendiendo hacia un valor 0,5 de coeficiente de roce transversal. Este fenómeno de ir bajando este parámetro se produce por el desgaste progresivo que sufre los áridos de este tipo de mezclas, que se encuentran más expuestos que una mezcla usual a los esfuerzos tangenciales de los vehículos que transitan en este tramo. Sin embargo en muy pocos

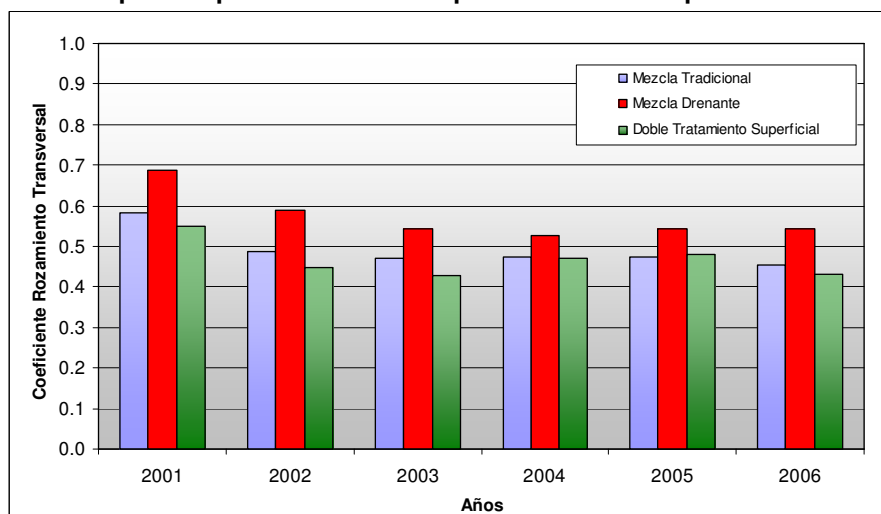
puntos se rebaja el mínimo exigido de una carpeta nueva (SFC=0,40), lo que demuestra un buen comportamiento de esta mezcla en el tiempo, en términos de fricción.

También es posible comparar el SFC con respecto a la carpeta de rodadura convencional y a la de un doble tratamiento superficial (que están antes y después del tramo experimental en estudio), que como se pueden apreciar en los Gráficos 17 y 18, no presentan grandes diferencias en sus magnitudes.

**Gráfico 17 - SFC pista derecha de tramo experimental con respecto a otras superficies.**



**Gráfico 18 - SFC pista izquierda de tramo experimental con respecto a otras superficies.**



Como se aprecia en los gráficos anteriores, la mezcla drenante en su primer año es mucho mayor su valor de SFC en las dos pistas con respecto a los otros dos tipos de carpeta, pero durante el tiempo su evolución se va acercando cada vez más a valores de una carpeta de rodadura tradicional, sobretodo en el caso de la pista derecha.

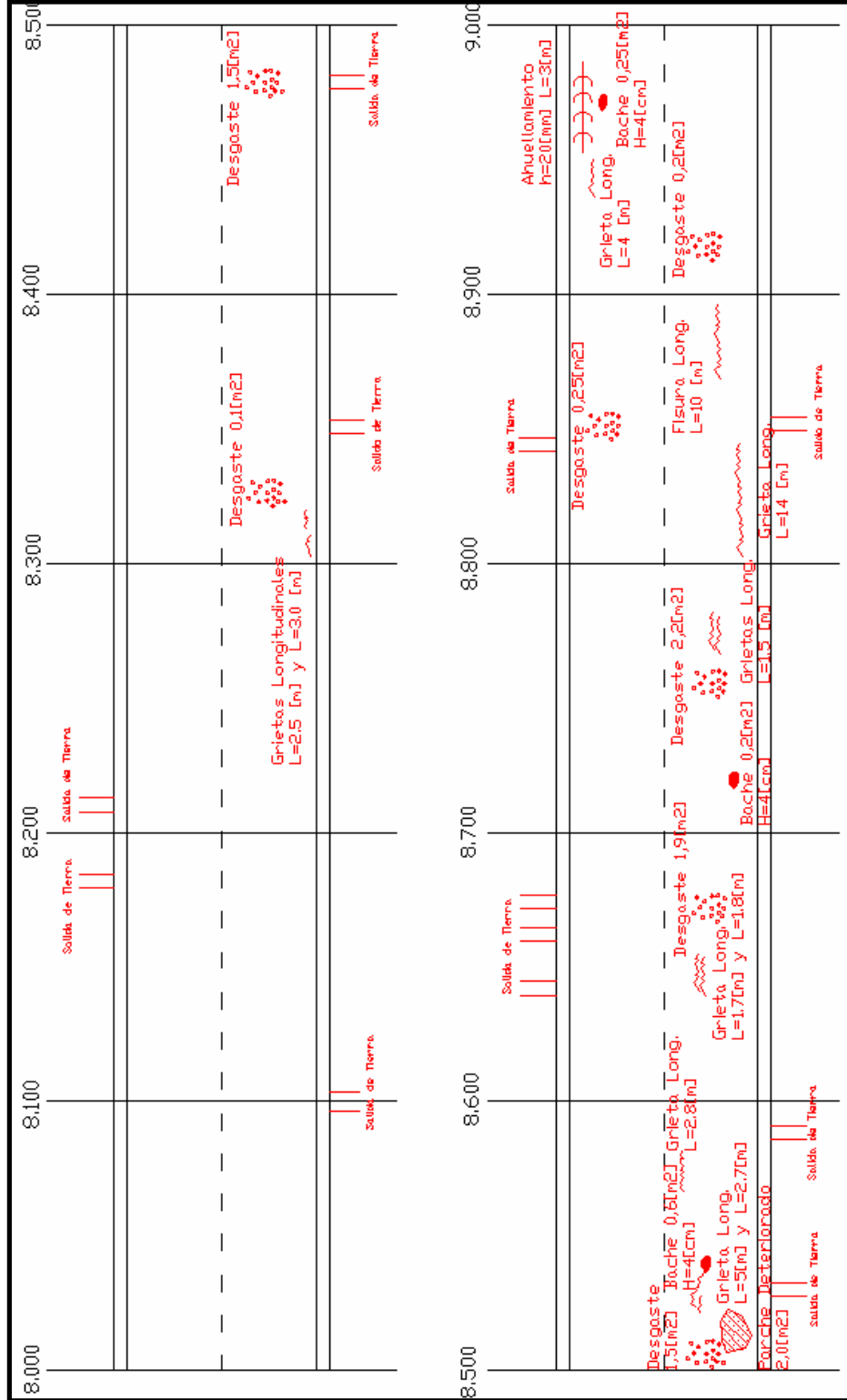
### **6.1.5 Inspección Visual**

La inspección visual realizada este año mostró una serie de deficiencias que son observadas en una monografía confeccionada para este tramo (ver Figura 24). Como era de esperarse en este tipo de mezclas, la mayor falla fue la pérdida de áridos superficiales en distintos puntos específicos de la mezcla, producidos esencialmente por reiterados esfuerzos tangenciales provenientes de frenadas o giros inesperados de vehículos motorizados. Cuando la pérdida de áridos es muy avanzada, se encuentran los baches en varias zonas del tramo, los que son esquivados por los conductores provocando posibles situaciones de riesgo entre los usuarios y vecinos de esta ruta.

En menor medida, pero no por eso menos importante, existen una serie de grietas longitudinales, donde algunas aparecieron por la reflexión de grietas de la estructura subyacente a la superficie o por gradientes térmicos que ocurren en mezclas asfálticas muy rígidas. También existe una pequeña zona en la pista izquierda en donde existe ahuellamiento, que se genera principalmente por un exceso de asfalto en la mezcla, una baja estabilidad Marshall en ese sector determinado o por una deformación en el suelo.

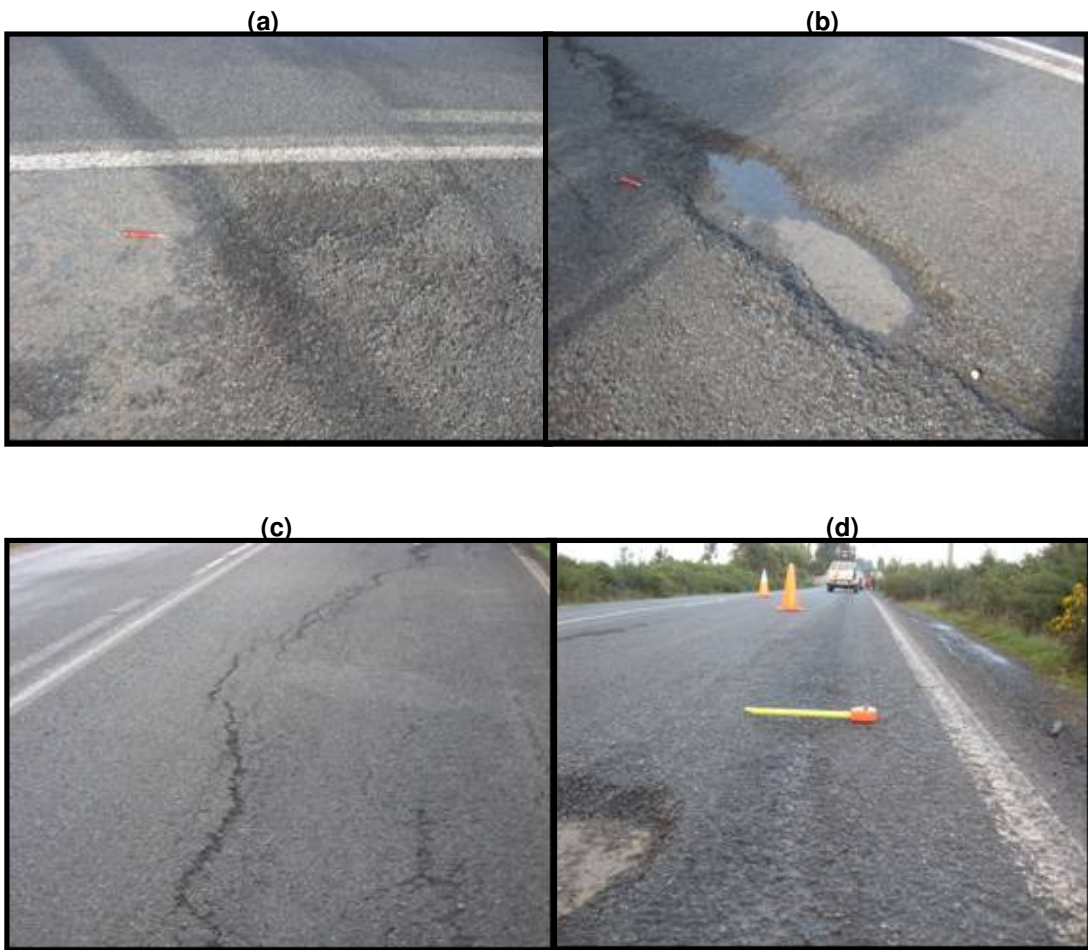


Figura 24 - Monografía tramo experimental Temuco – Cholchol.



A continuación se observan las fallas más recurrentes mencionadas anteriormente en esta sección (ver Figura 25).

**Figura 25 - Fallas tramo experimental: (a) Desgaste de áridos, (b) Bache, (c) Grieta Longitudinal y (d) Ahuellamiento.**



## 6.2 Valdivia – Paillaco

La Décima Cuarta Región de Chile, denominada Región de Los Ríos, se extiende los 39° 45' y 44° 04' de Latitud Sur. Dentro de esta región se encuentran las ciudades de Valdivia y Paillaco, unidas por la Ruta 207 (de dos pistas), la cual tiene 46 kilómetros de extensión aproximadamente. Esta zona presenta un clima templado – lluvioso, con influencia mediterránea y lluvias concentradas en invierno. La temperatura promedio en invierno oscila entre los 5 a 10 °C, mientras que en el verano es entre 12 y 15 °C.

El tramo de mezcla drenante Valdivia – Paillaco, que fue construido a fines de 1999, tiene una longitud de cuatro kilómetros aproximadamente, con una pequeña discontinuidad de alrededor de 500 metros (ver Figura 26). Se pavimentó exactamente entre el metraje 19.236,76 y 22.700 de esta ruta, en cinco sectores:

- Desde km 19.236,76 – 19.590,00 Longitud: 353,24 metros.
- Desde km 19.590,00 – 20.760,00 Longitud: 1.370,00 metros.
- Desde km 20.760,00 – 20.805,00 Longitud: 45,00 metros.
- Desde km 20.805,00 – 21.243,60 Longitud: 438,60 metros.
- Desde km 21.865,00 – 22.700,00 Longitud: 835,00 metros.

**Figura 26 - Ubicación geográfica tramo experimental Valdivia – Paillaco.**



Fuente: Cartas Camineras, MOP.

### 6.2.1 Características de la Mezcla

La mezcla fue instalada sobre un pavimento asfáltico existente, al cual se le hizo un tratamiento de sellado de fisuras previo a su colocación (para impermeabilizar la superficie), además de un riego de liga aplicado a razón de  $0.8 \text{ [kg/m}^2\text{]}$  de emulsión asfáltica modificada con elastómero del tipo SBS.

El pavimento, que fue construido antes de la carpeta drenante, consistía en una carpeta densa tipo IV 12, de 7 centímetros de espesor, más una mezcla de base de graduación intermedia de 10 centímetros (ver Figura 27). Encima de esto se colocó la carpeta asfáltica de rodadura con una mezcla asfáltica drenante, de 4 centímetros de espesor, con cuñas laterales hacia las bermas.

Figura 27 - Estructura Tramo Experimental Valdivia – Paillaco.



El tamaño máximo del árido es de  $\frac{1}{2}$  pulgada, siendo la PA-10 la banda granulométrica usada en este caso. Los áridos usados en esta mezcla, en general presentan las siguientes características (ver Tabla 15).

**Tabla 15 - Áridos en Tramo Valdivia – Paillaco.**

<b>Características de los Áridos (%)</b>	
<b>Coefficiente de Desgaste Los Angeles (LNV 75)</b>	18,6
<b>% Chancado (LNV-3)</b>	98,4
<b>% Lajas (LNV-3)</b>	6,2

La granulometría y otras características físicas de todos los componentes de los áridos (Gravilla 1/2'', Arena y Filler), se exponen a continuación en la Tabla 16.

**Tabla 16 - Granulometría componente de áridos en Tramo Valdivia – Paillaco.**

<b>Tamiz</b>		<b>% que pasa</b>		
<b>ASTM</b>	<b>mm</b>	<b>Gravilla 1/2''</b>	<b>Arena</b>	<b>Filler</b>
<b>1/2''</b>	12,5	100	100	100
<b>3/8''</b>	10	85	100	100
<b>Nº 4</b>	5	16	96	100
<b>Nº 8</b>	2,5	6	73	100
<b>Nº 30</b>	0,63	2	31	100
<b>Nº 200</b>	0,08	1	3	99
<b>Características Físicas</b>				
<b>Densidad Real Seca [Kg/m<sup>3</sup>]</b>		2642	2636	2833
<b>Índice de Plasticidad</b>		NP	NP	NP

Se consideran los porcentajes en peso de los componentes de los áridos son: gravilla 1/2'' con 83 %, arena con 15 %, más un 3% de aportación de filler (cemento hidráulico). Por tanto, la granulometría de la mezcla total de áridos, su banda de trabajo y la especificación (PA-10) se muestran en la Tabla 17.

**Tabla 17 - Granulometría de mezcla de áridos tramo Valdivia Paillaco.**

<b>Tamiz</b>		<b>% que pasa</b>		
<b>ASTM</b>	<b>mm</b>	<b>Mezcla Áridos (88/12)</b>	<b>Banda de Trabajo</b>	<b>Especificación PA-10</b>
<b>1/2''</b>	12,5	100	100	100
<b>3/8''</b>	10	88	83-93	70-90
<b>Nº 4</b>	5	30	25-35	15-30
<b>Nº 8</b>	2,5	18	14-22	10-22
<b>Nº 30</b>	0,63	8	5-11	6-13
<b>Nº 200</b>	0,08	3	1-4	3-6

El asfalto es modificado con elastómero del tipo SBS. La mezcla se realizó en una planta en caliente, cuya penetración pertenece al intervalo CA-60/80. Sus principales características son mostradas en la Tabla 18.

**Tabla 18 - Características principales asfalto en tramo Valdivia – Paillaco.**

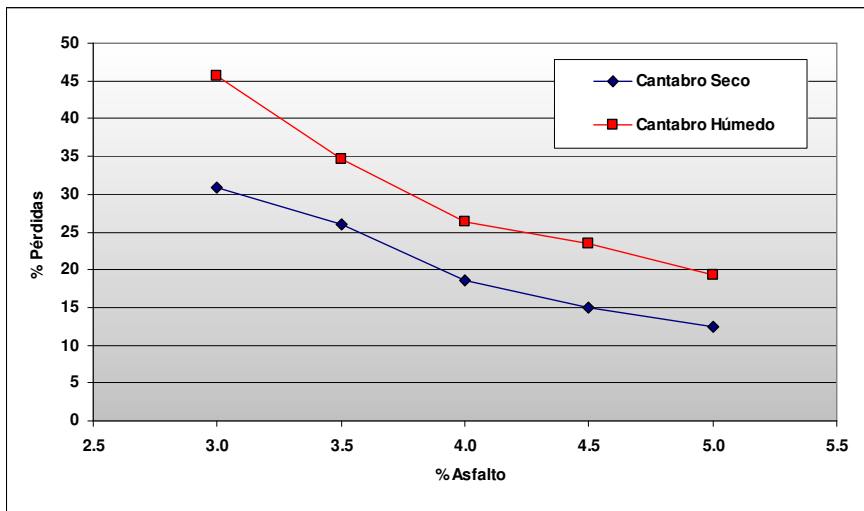
<b>Asfalto Modificado CARIPHALTE DA 60-80</b>	
<b>Penetración 25 °C, 1/10 mm., 5 seg.</b>	79
<b>Punto de Ablandamiento, °C</b>	76
<b>Ductilidad a 5 °C, 5 cm/min, cm</b>	88
<b>Índice de Penetración</b>	4,4
<b>Recuperación Elástica a 13 °C, %</b>	92
<b>Viscosidad cinemática a 135 °C, cst</b>	1300
<b>Viscosidad cinemática a 150 °C, cst</b>	700
<b>Viscosidad cinemática a 170 °C, cst</b>	235
<b>Temperatura de Mezcla, °C</b>	170 +/- 4
<b>Temperatura de Compactación Mínima, °C</b>	135 +/- 10

Para la dosificación de asfalto de la mezcla, se confeccionaron probetas con un porcentaje de ligante entre 3 y 5 %. Se calcularon sus densidades y el desgaste según el método Cántabro, en condiciones secas y húmedas. Adicionalmente, se midieron las permeabilidades de las muestras a través del permeámetro LCS (ver Tabla 19 y Gráficos 19 y 20).

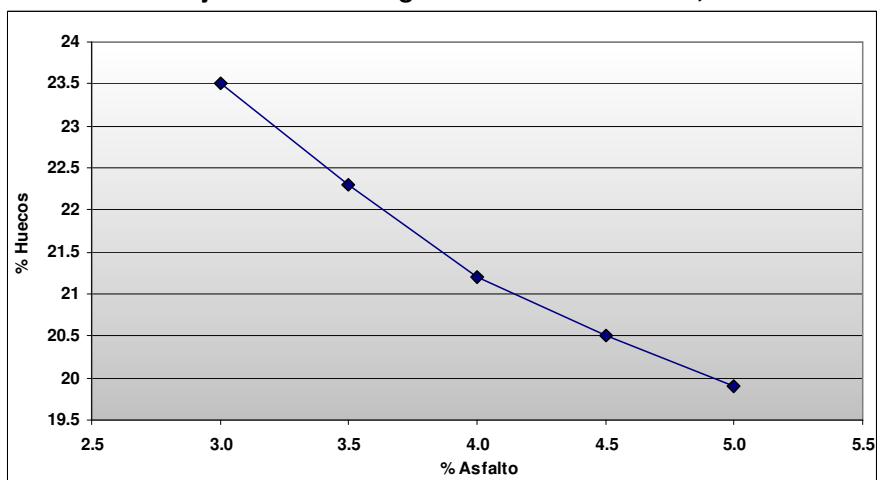
**Tabla 19 - Características del asfalto con distintos porcentajes.**

<b>% de Asfalto</b>	<b>Dosificación de la Mezcla</b>					<b>Especificación</b>
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	
<b>Densidad [kg/m<sup>3</sup>]</b>	1940	1958	1970	1974	1976	-
<b>Cántabro Seco (%)</b>	30,9	26	18,6	15	12,4	< 20 %
<b>Cántabro Húmedo (%)</b>	45,6	34,6	26,4	23,5	19,4	< 30 %
<b>% de Huecos</b>	23,5	22,3	21,2	20,5	19,9	entre 20 y 25 %

**Gráfico 19 - Ensayo Cántabro Seco y Húmedo, Valdivia - Paillaco.**



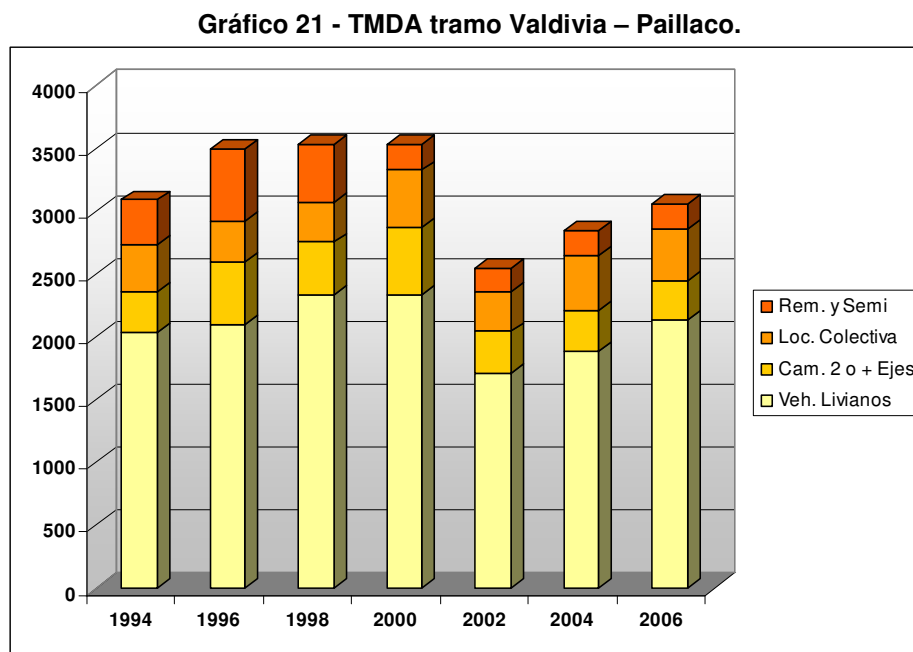
**Gráfico 20 - Porcentaje de Huecos según Cantidad de Asfalto, Valdivia – Paillaco.**



Con estos datos, se diseñó la mezcla con 4,1 % de asfalto, con una tolerancia de  $\pm 0,3$  %.

## 6.2.2 TMDA

El tránsito medio diario anual de la ruta 207, que fue recogido de la página de internet Vialidad – Chile, se determinó a través del Plan Nacional de Censos, el cual se hace cada dos años, calculando muestras tres días en esos años, las cuales que son demostrativos del tránsito anual (una en Verano, otra en Invierno y una última en Primavera). Con estos tres datos hacen un promedio y se obtiene el TMDA (ver Gráfico 21).



**Fuente: Plan Nacional de Censos, MOP.**

Para ver la forma del crecimiento del TMDA de todos los vehículos, se optó por calcular una línea de tendencia que diera mayor coeficiente de correlación  $R^2$ , en este caso la relación óptima fue lineal. El valor de la ecuación, referenciado según los años de servicio es:

$$TMDA_{Val-Pai} = -42.071 \cdot x + 3202.1 \quad (R^2 = 0.227) \quad (\text{ec. 4})$$

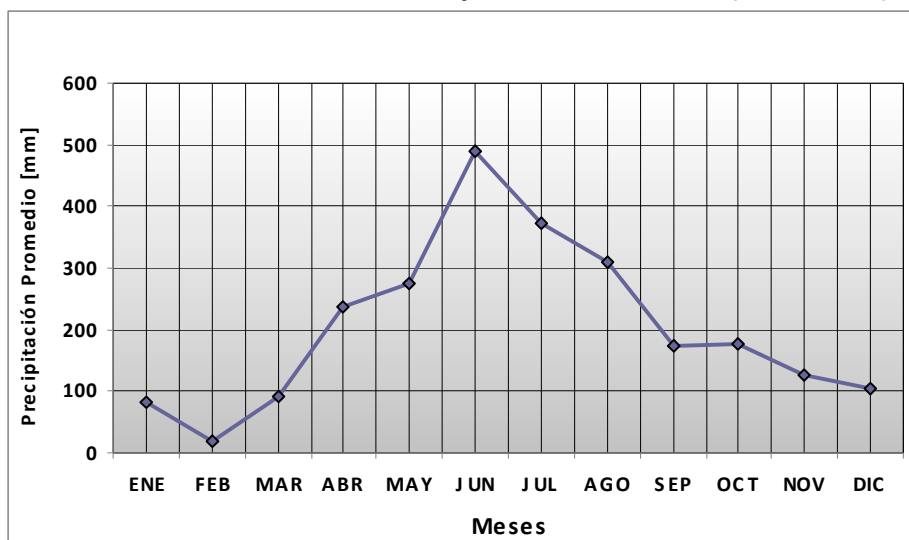


Inesperadamente se dio una relación decreciente, todo esto debido quizás a una dispersión de los mismos con el transcurrir de los años.

### 6.2.3 Pluviometría

Se obtuvieron registros de precipitaciones mensuales de los últimos cuatro años, desde el 2004 al 2007 (ver Gráfico 22). Los datos son en milímetros y recogidos mediante el pluviómetro perteneciente a la Dirección General de Aguas de Chile.

**Gráfico 22 - Pluviometría mensual promedio en Valdivia (2004 – 2007).**



**Fuente: Dirección General de Aguas.**

En el gráfico se observa que al igual que en la zona de Temuco, las máximas precipitaciones ocurren en el mes de Junio, con casi 500 [mm]. Existen cuatro meses (de Mayo a Agosto) en los cuales los registros superan los 250 milímetros de agua caída, y sólo en el mes de Febrero las precipitaciones mensuales bajan de los 80 [mm]. En total, al año caen alrededor de 2500 [mm] de agua, siendo por tanto una de las regiones donde más llueve en Chile.

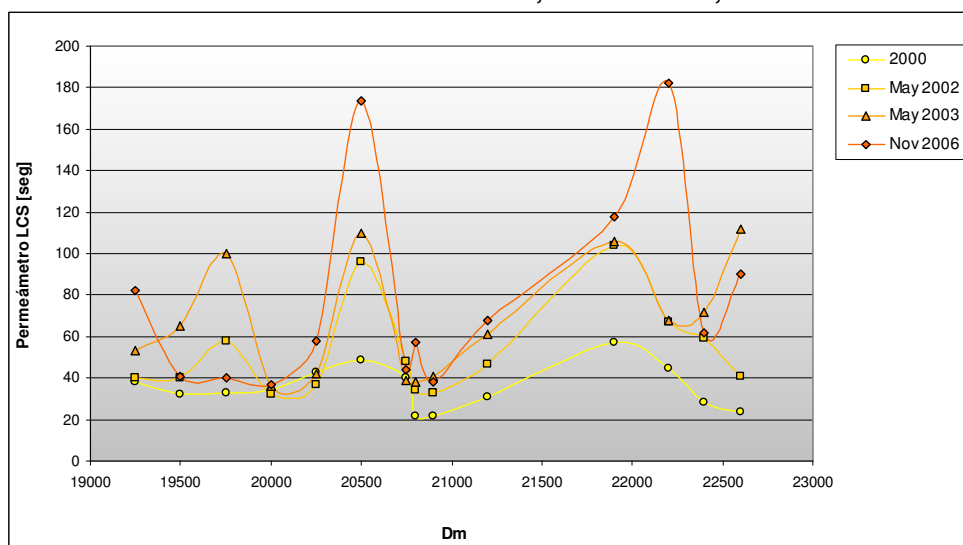
## 6.2.4 Ensayos In Situ

### 6.2.4.1 Permeabilidad

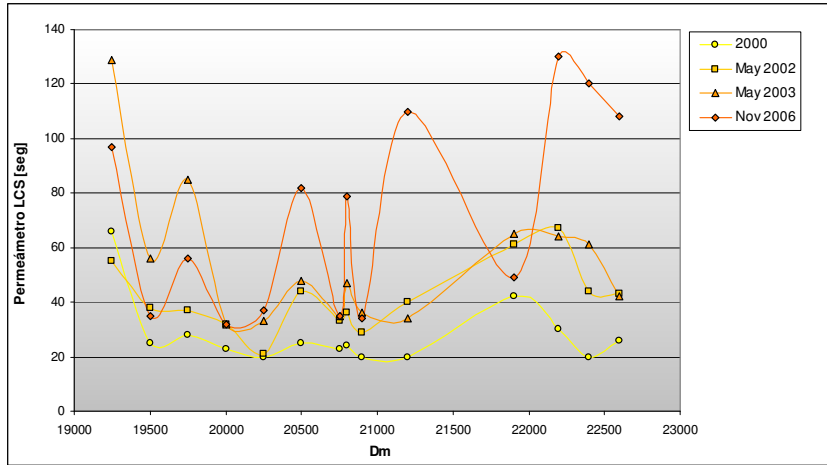
Para este tramo, se buscó recolectar datos cada 250 metros aproximadamente, en la misma forma que se hizo en el tramo Temuco-Cholchol: mediciones en cada pista, dividiendo ésta en zona interna, central y externa. Se realizaron ensayos en los años 2000, 2002, 2003 y 2006, pudiendo con esto observar el comportamiento en el tiempo de áreas puntuales de este tramo experimental.

Durante la vida de este tramo, se registraron datos del año de su construcción (2000), del 2002, 2003 y 2006. Su evolución en el tiempo, según cada sector de las dos pistas, se muestra en los Gráficos 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

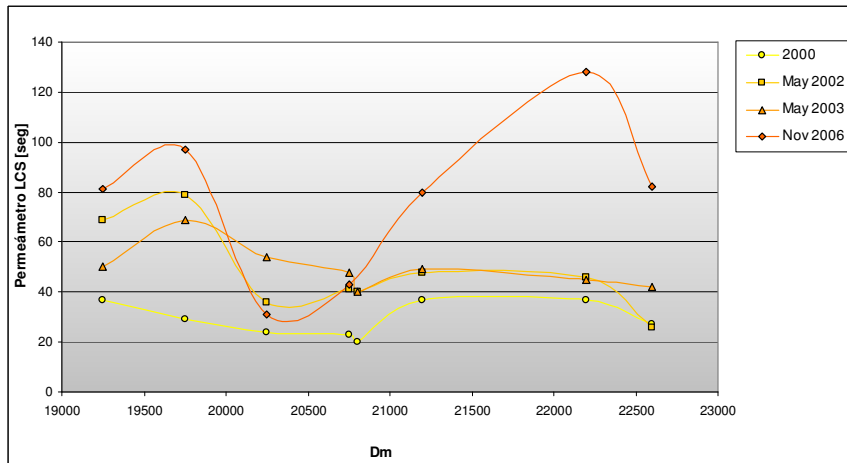
**Gráfico 23 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Exterior, Valdivia - Paillaco.**



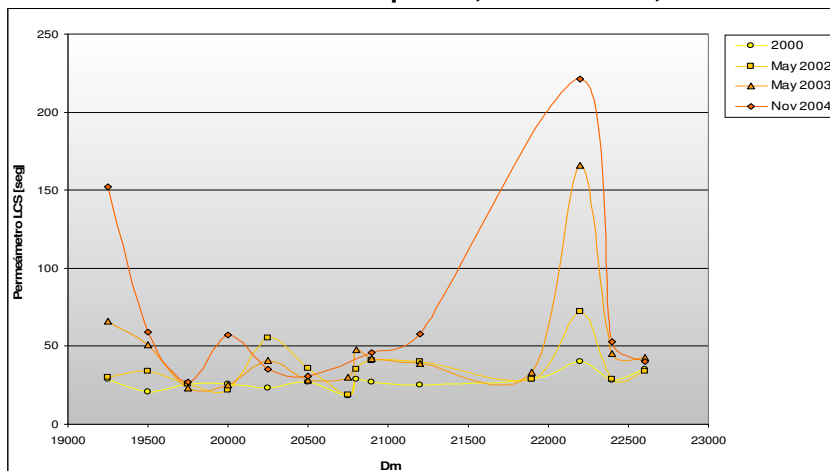
**Gráfico 24 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Interior, Valdivia - Paillaco.**



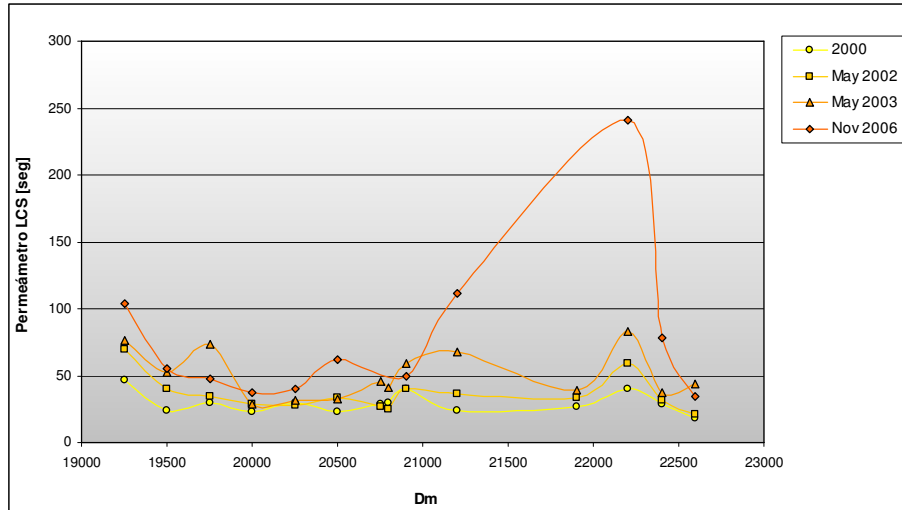
**Gráfico 25 - Permeabilidad Pista Derecha, zona Centro, Valdivia - Paillaco.**



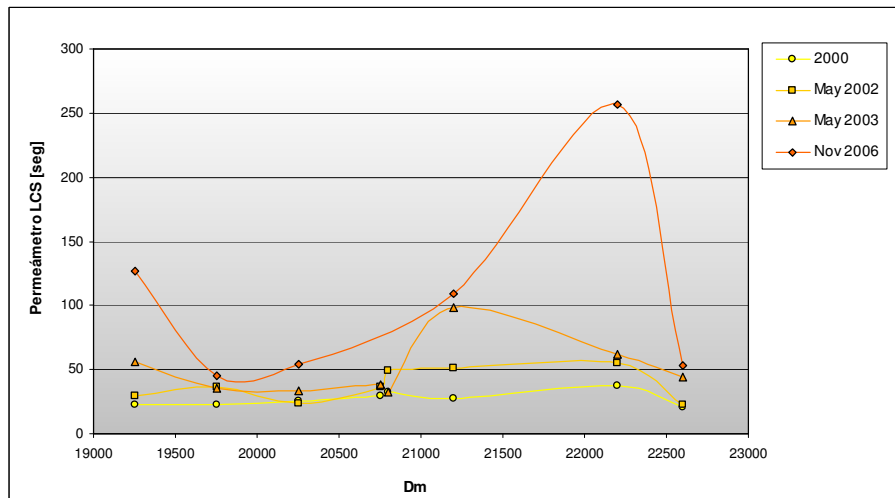
**Gráfico 26 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Exterior, Valdivia - Paillaco.**



**Gráfico 27 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Interior, Valdivia - Paillaco.**



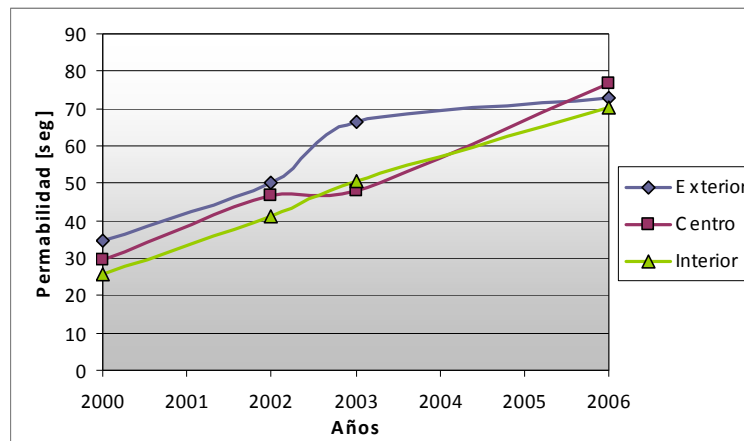
**Gráfico 28 - Permeabilidad Pista Izquierda, zona Centro, Valdivia - Paillaco.**



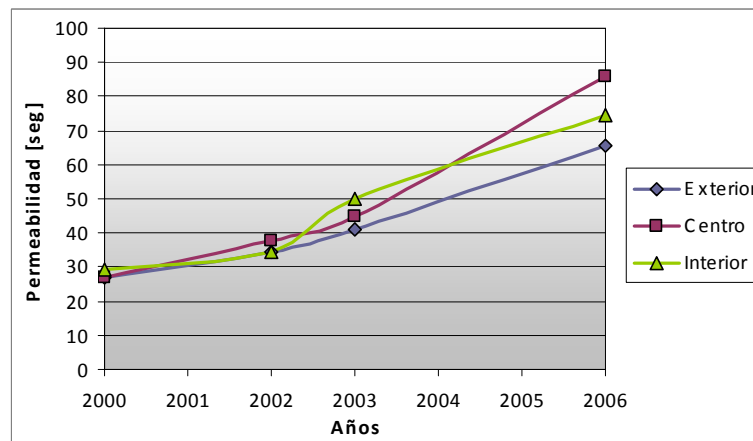
De los seis gráficos anteriores, se explica que la pérdida de drenabilidad sigue el curso normal de estas mezclas, es decir, va perdiendo la cantidad de huecos interconectados con el tiempo. En algunos puntos el tiempo de permeabilidad se dispara más que en otros debido a la colmatación producto de las salidas de predios que existen en esta zona. También se observa que la zona central de las pistas en su último registro (año 2006) tiene los máximos valores, a pesar que durante los años anteriores su comportamiento es muy parecido a las huellas de las dos pistas.

Si se obtienen los promedios de permeabilidad del tramo completo en los años en que fueron registrados estos datos (sin considerar los máximos y mínimos anuales, para evitar las dispersiones), se pueden observar tendencias más definidas del funcionamiento de este pavimento en el tramo Valdivia - Paillaco (ver Gráficos 29 y 30).

**Gráfico 29 - Permeabilidad Promedio Pista Derecha, Valdivia - Paillaco.**



**Gráfico 30 - Permeabilidad Promedio Pista Izquierda, Valdivia - Paillaco.**



Las dos pistas muestran comportamientos uniformes, donde ninguna de ellas se acerca al estado de colmatación (drenabilidad superior a los 600 [seg]). El hecho de que ambas pistas no superen los 100 segundos después de 6 años de vida útil, indica un buen desempeño de la mezcla, cumpliendo así con los requerimientos de seguridad para condiciones de lluvia intensa.

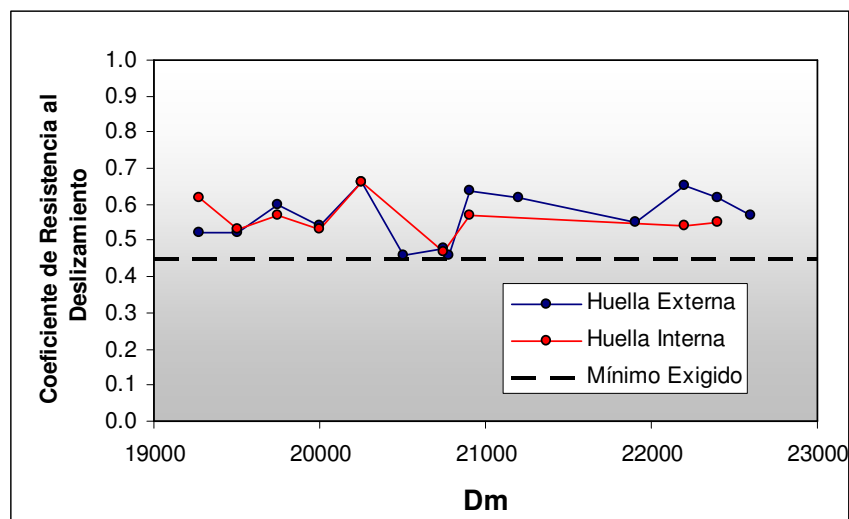
Durante las cuatro mediciones hechas para las dos pistas, se muestra que en las primeras tres la pista derecha arrojaba valores superiores en cerca del 20% de la otra pista, pero en la última inspección los valores son muy parecidos en ambas franjas.

Las mediciones realizadas en huella interna, huella externa y en el centro de cada pista, no tienen diferencias sustanciales en sus registros, aunque como es de esperar la zona central es la que presenta menor drenabilidad. Este hecho ocurre porque el tránsito generalmente no pasa por esta parte de la pista, la cual no es “limpiada” por la combinación de las lluvias y el movimiento de los neumáticos en esta condición climática.

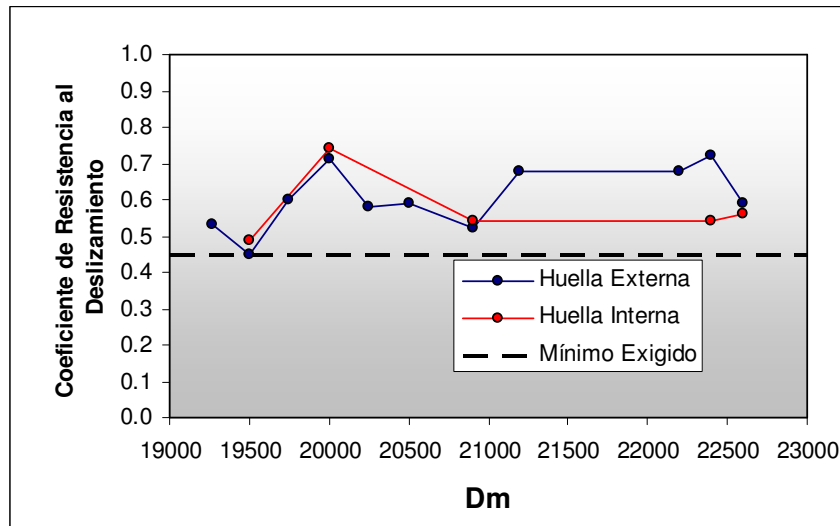
#### 6.2.4.2 Péndulo Británico

El ensayo de péndulo británico se ejecutó el año 2006 en las dos pistas, cada 250 metros en promedio. En cada pista se midió tanto en la huella interna como en la huella externa (ver Gráficos 31 y 32). Todas las mediciones fueron corregidas por el efecto de la temperatura en la toma de datos de este ensayo.

**Gráfico 31 - CRD Pista Derecha, Valdivia - Paillaco.**



**Gráfico 32 - CRD Pista Izquierda, Valdivia - Paillaco.**



A pesar de que no se dispone de registro de mediciones anteriores, la fricción obtenida por péndulo de fricción o británico presenta valores muy homogéneos en un rango de 0,45 a 0,74; lo que son aceptables según el mínimo exigido por la sección 5.408.303(3) del Volumen 5 del Manual de Carreteras (sector sin singularidades debe ser mayor a 0,45). Tanto en la pista derecha como en la izquierda se presentan valores promedios muy similares: la primera bordea la magnitud 0,56; mientras que la última su media es de 0,59.

Todo lo anterior muestra que la mezcla usada en esta zona presenta uniformidad en la textura superficial de la rodadura. Para ser un pavimento con 6 años de uso, sus valores obtenidos son excelentes y muestran la alta textura que caracterizan estas mezclas, las cuales funcionan de manera efectiva en la evacuación de aguas producidas por lluvias constantes.

### 6.2.5 Inspección Visual

El tramo de prueba de la Ruta 207, durante su inspección visual el año 2006, presentó un excelente estado. No se recopiló ningún tipo de falla, por lo que el posible ahuellamiento, agrietamiento o alguna otra falla superficial no se ha observado hasta esos días (ver Figura 28).

Figura 28 - Estado Tramo Valdivia – Paillaco en el año 2006.



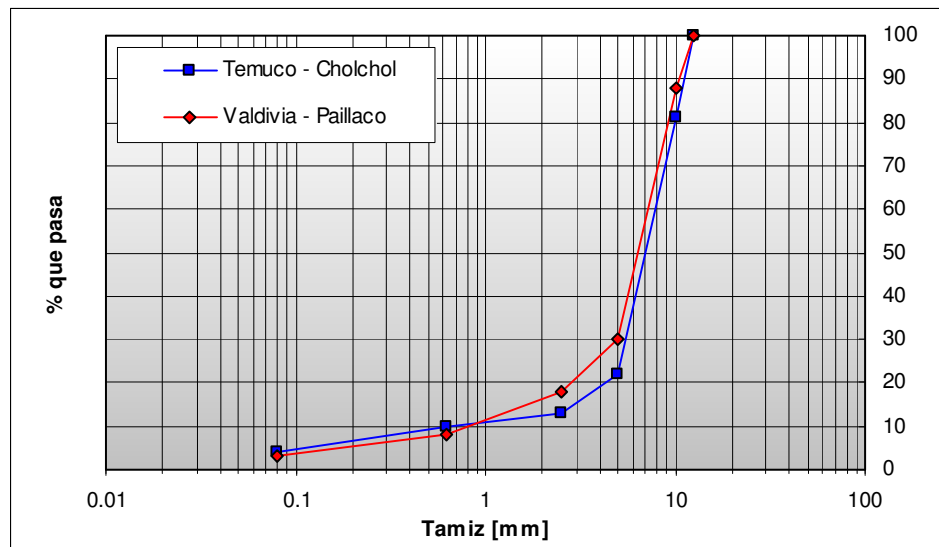
## CAPÍTULO 7 COMPARACIÓN ENTRE TRAMOS



## 7.1 Características de la Mezcla

El primer parámetro a comparar entre los dos tramos experimentales, es la granulometría de los áridos usados en la mezcla (ver Gráfico 33).

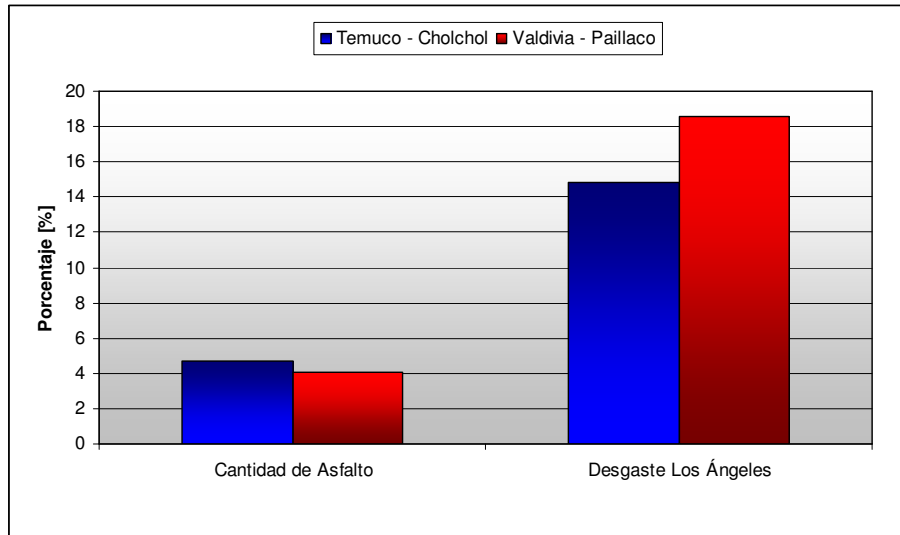
**Gráfico 33 - Comparación Granulometría de áridos.**



Se observa que hasta la malla N° 30 (0.63 [mm]) hay más porcentaje de áridos finos en Temuco - Cholchol. A partir de este tamiz, la dosificación de áridos que superan la malla N° 30 es mayor en el tramo de Valdivia – Paillaco, pero mientras más grueso es el árido, más se acercan sus granulometrías. Por lo tanto se muestran dos conceptos: por un lado en el tramo de la Novena Región existen más finos los cuales son compensados por menos áridos gruesos, mientras que en el tramo de la Región de Los Ríos se observa una granulometría más escalonada y sin cambios bruscos en sus dosificaciones.

El asfalto y el árido son los componentes principales de una mezcla asfáltica. El ensayo de desgaste Los Ángeles sirve para caracterizar la calidad del árido usado en los dos tramos. Se incluye también la cantidad de asfalto utilizado en la mezcla, todo esto en el Gráfico 34.

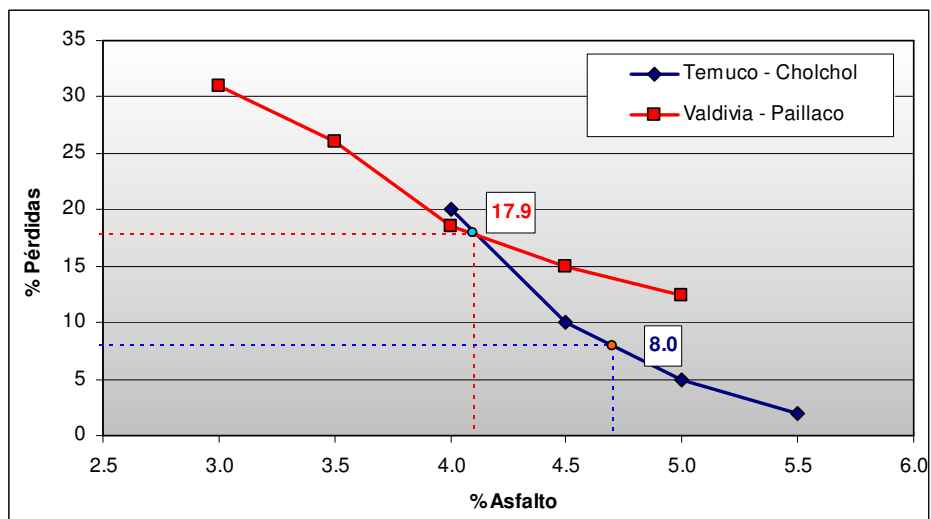
**Gráfico 34 - Comparación cantidad de asfalto y desgaste Los Ángeles.**



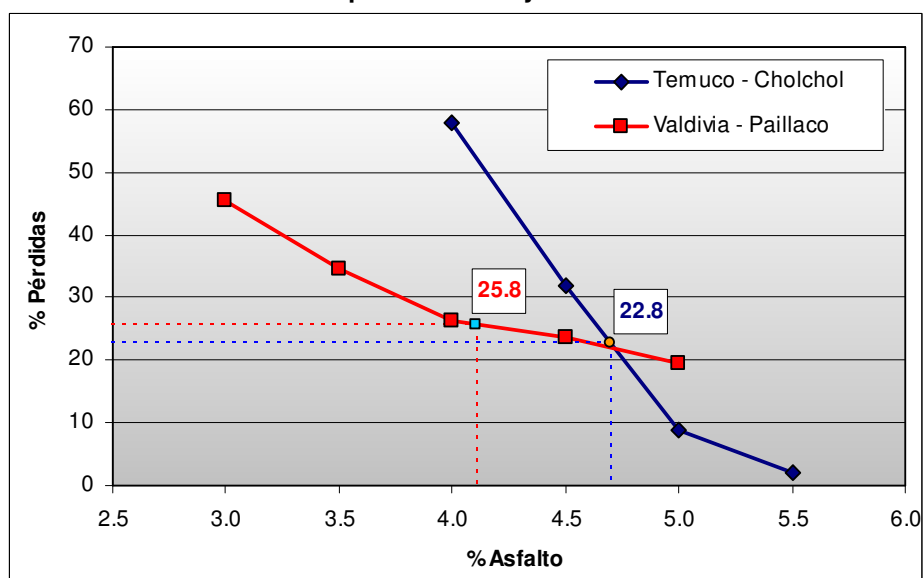
Si bien estos valores no tienen relación alguna por sí solos, sirven para mostrar que el árido usado en el tramo Temuco - Cholchol era de mejor calidad, pues tiene menores pérdidas a la del otro tramo en estudio. Además, se observa que la cantidad de ligante es mayor en el tramo Temuco - Cholchol (4,7 +/- 0,2), cuya diferencia con el tramo Valdivia - Paillaco (4,1 +/- 0,3) es de 0.6%.

En los ensayos de laboratorio tendientes a determinar el desgaste de la mezcla mediante el método Cantabro, se contrastó el comportamiento de las probetas en condición Seca y Húmeda, modificando la cantidad de ligante (ver Gráficos 35 y 36).

**Gráfico 35 - Comparación ensayo Cántabro Seco.**



**Gráfico 36 - Comparación ensayo Cántabro Húmedo.**

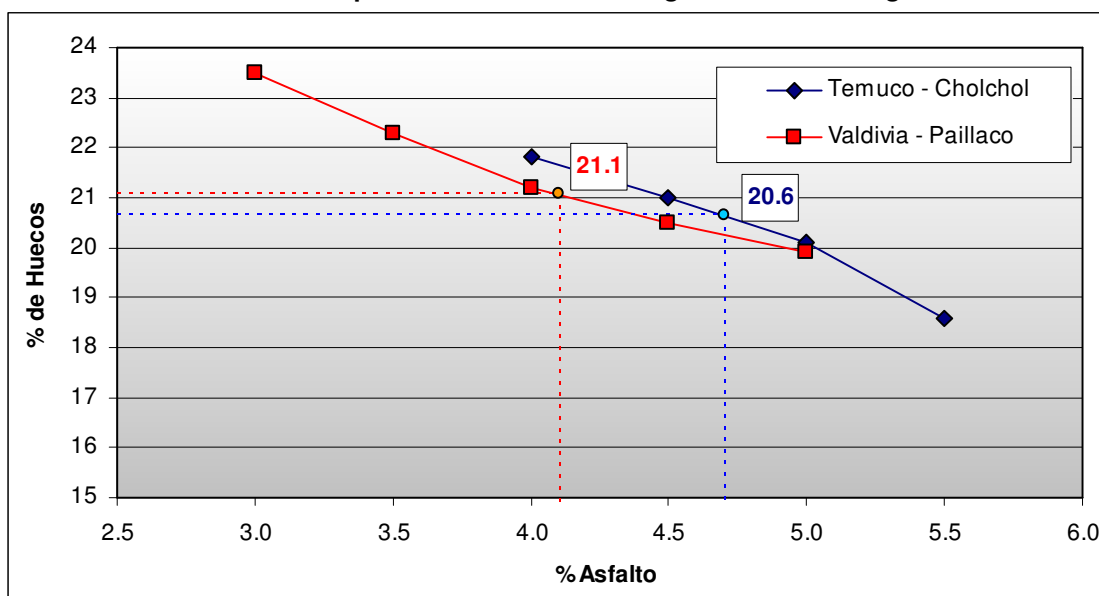


En el ensayo Cántabro Seco se califica de manera casi evidente el comportamiento de la mezcla, cuando aumenta el ligante va decayendo el porcentaje de pérdidas. Las probetas de Temuco - Cholchol presentan un porcentaje de pérdida menor y por tanto no se verían afectadas de posibles desprendimientos a la acción del tráfico. Según la cantidad de asfalto usado en cada tramo, se observa casi un 10 % más de pérdida en Valdivia – Paillaco.

Para el ensayo Húmedo las probetas de Temuco poseen un comportamiento más inestable con respecto a la cantidad de asfalto, por lo que también se ven más propensas a desgastarse ante la influencia del agua en los pavimentos. No obstante, tomando en cuenta la cantidad de ligante usada en los dos tramos, no se observan diferencias tan grandes en su pérdida comparando con el ensayo Cantabro Seco.

En el laboratorio, al momento de ser determinados los porcentajes de asfalto óptimos, se calcularon los huecos de aire de forma geométrica en las probetas ensayadas, modificando la cantidad de asfalto (ver Gráfico 37).

**Gráfico 37 - Comparación % de huecos según cantidad de ligante.**

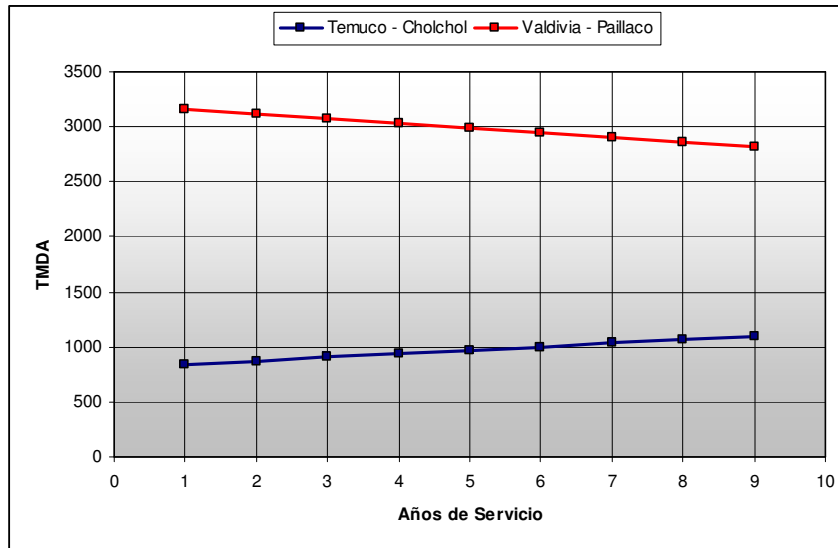


Se aprecia una ligera alza en la cantidad de poros de la muestra de Temuco, esto se debe principalmente a las diferencias bruscas de la granulometría de áridos, lo que hace que su distribución permita un acomodo tal que exista más cantidad de aire en la mezcla. Pero, según la cantidad de asfalto en la mezcla, se observa una diferencia de solo 0.5 % (21.1 % Valdivia y 20.6 % Temuco) en los huecos al momento de diseñar las mezclas.

## 7.2 TMDA

Se presentan la correlaciones obtenidas de los TMDA según zona (ec. 3 y 4) correspondientes al tramo Temuco – Cholchol y Valdivia – Paillaco respectivamente (ver Gráfico 38). La tasa de crecimiento del volumen diario de Temuco – Cholchol es del 3.76 % anual, mientras que Valdivia – Paillaco se observó un decrecimiento 1.33 % al año.

**Gráfico 38 - Comparación TMDA proyectados.**



Amplificando el TMDA proyectado anual en los 365 días del año, es posible calcular la cantidad de pasadas de vehículos en los dos tramos (ver Tabla 20).

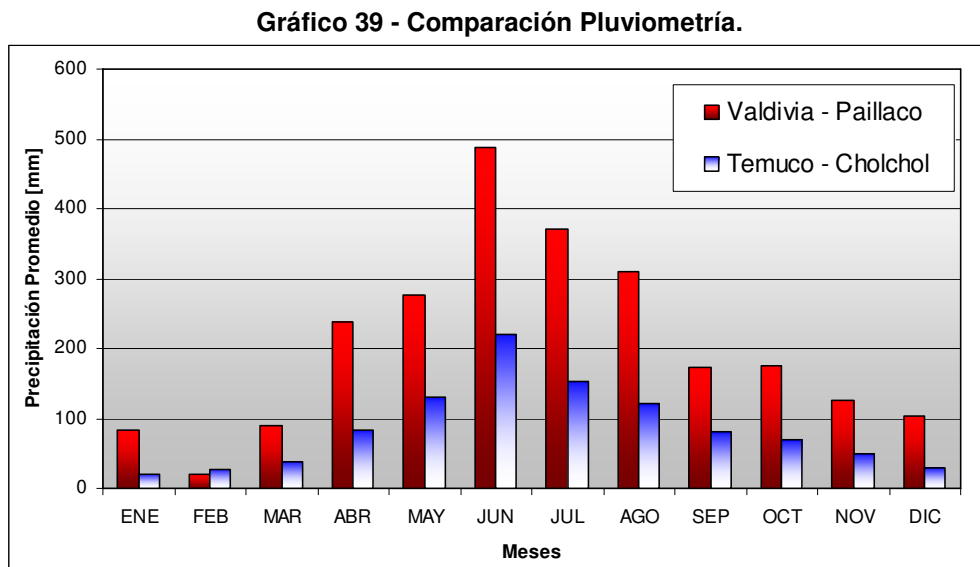
**Tabla 20 - Comparación Pasadas de Vehículos proyectadas.**

Año	Pasadas de Vehículos	
	Temuco - Cholchol	Valdivia - Paillaco
1	307735	1153411
2	319298	1138055
3	330860	1122699
4	342423	1107343
5	353986	1091987
6	365549	1076631
7	377112	1061275
8	388675	1045919
9	400237	1030563
<b>SUMA</b>	<b>3185875</b>	<b>9827882</b>

Se observa que la sumatoria de valores es aproximadamente el triple más grande en la zona de Valdivia, donde han pasado más de tres millones de vehículos hasta este año.

### 7.3 Pluviometría

Las lluvias caídas en cada zona también sirven para establecer diferencias en los estados de los pavimentos hasta el día de hoy. En el Gráfico 39 se establecen las dimensiones de agua caída en los sectores donde se construyeron los tramos.

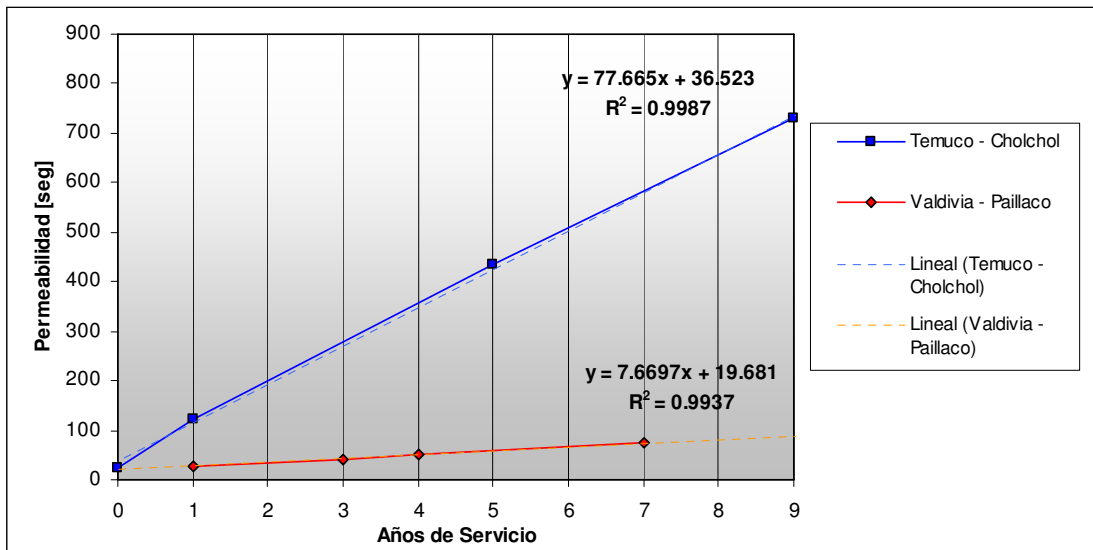


Se muestra claramente una inclinación de precipitaciones en la Región de los Ríos, en términos de cantidad total anual y volumen mensual de las lluvias. Se detecta que el agua caída mensual es el doble al área de Temuco - Cholchol en casi todos los meses, a excepción del mes de Febrero, uno de los meses con menos precipitaciones en ambas zonas.

## 7.4 Permeabilidad

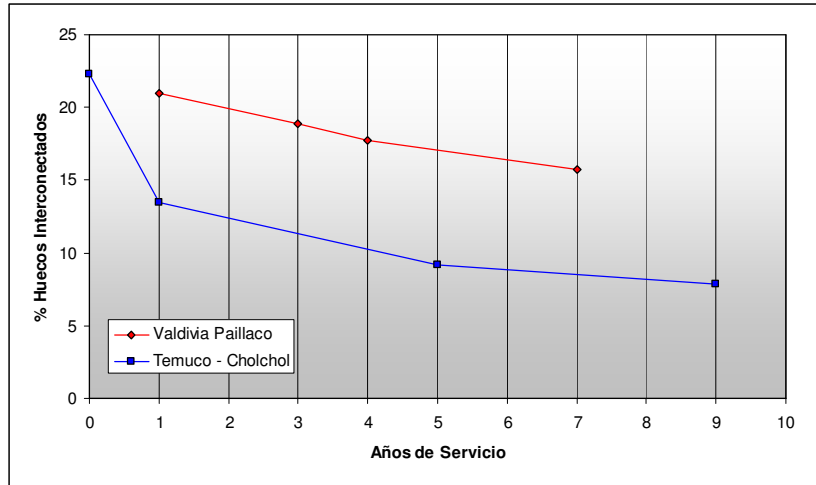
En cuanto a la permeabilidad de las mezclas en el tiempo (y en terreno), se compararon los promedios de cada pista y en cada año de los dos tramos. Debido a la linealidad de estos valores, es posible establecer ecuaciones que estiman lo que se debería demorar el permeámetro LCS en promedio en drenar agua para ensayos posteriores (ver Gráfico 40).

Gráfico 40 - Comparación de Ensayo de Permeabilidad.



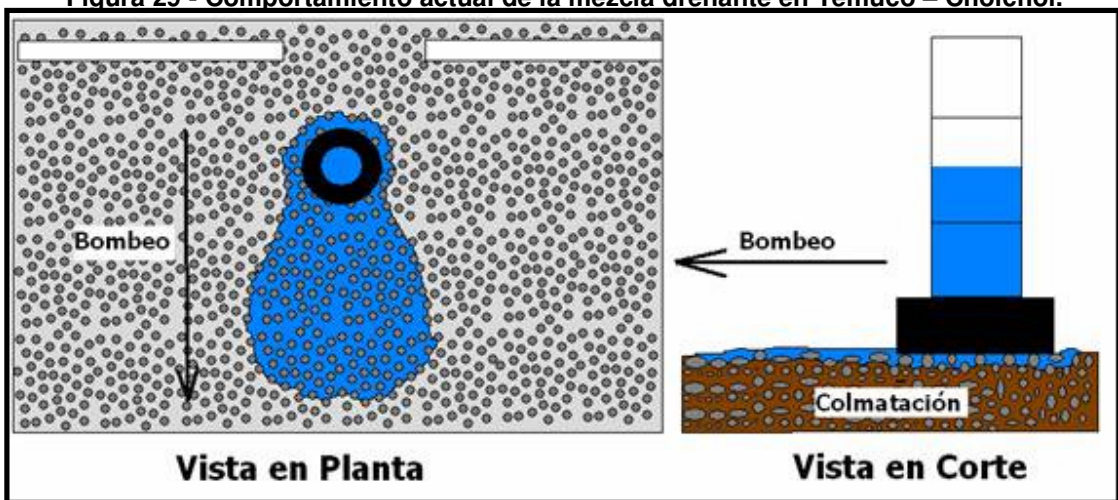
Con estos valores es posible calcular el porcentaje de huecos de aire interconectados (ec. 1), que van desapareciendo con la colmatación del pavimento al irse ensuciando éste (ver Gráfico 41). Sin embargo, no se debe confundir los poros interconectados con el porcentaje de huecos de aire geométricos calculados para la obtención de la cantidad de ligante óptimo (ver Gráfico 37), ya que estos últimos no necesariamente poseen una conexión necesaria para hacer pasar el agua por entre su estructura.

**Gráfico 41 - Comparación Huecos interconectados de aire.**



Sin lugar a dudas que este parámetro es el que más diferencia el comportamiento de los dos tramos experimentales en estudio. Mientras que el de la Ruta 207 presenta como máximo valores bajo los dos minutos de tiempo de evacuación del permeámetro, en el tramo de la Ruta S-20 actualmente se superan los 700 segundos en el ensayo de permeabilidad. Por tanto, es fácil demostrar que los huecos de aire interconectados en Temuco - Cholchol están llenos de material orgánico u otras suciedades que reducen casi a nivel superficial la evacuación de agua, debido solamente a la alta macrotextura de estas mezclas y al bombeo geométrico de las pistas (ver Figura 29).

**Figura 29 - Comportamiento actual de la mezcla drenante en Temuco – Cholchol.**

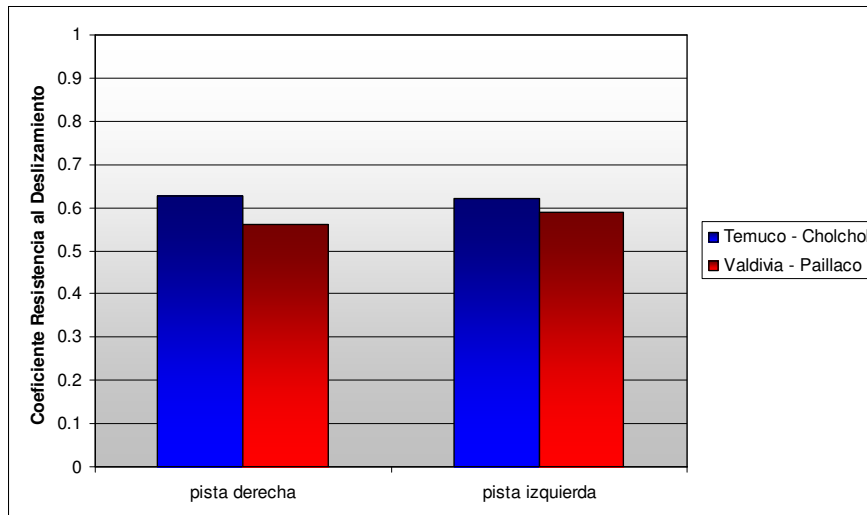




## 7.5 Fricción Superficial

El último elemento a comparar es el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, cuyo valor no se tenía para el tramo Temuco – Cholchol, pero que mediante la relación chilena entre los coeficientes BPN (o CRD) y el SFC del SCRIM fue posible cuantificar teóricamente sus magnitudes. Solo se mostrarán las pistas de cada tramo con siete años de servicio, ya que no existen registros de años anteriores en Valdivia – Paillaco (ver gráfico 42).

**Gráfico 42 - Comparación CRD por pista año 2006.**



Los valores del CRD presentados después de 7 años de servicio superan el mínimo exigido para pistas sin singularidades al momento de su entrega (0.45). Sus valores bordean la magnitud 0.6, lo que significa un comportamiento más que aceptable en términos de fricción neumático – pavimento. Según un artículo de la Revista BIT de Noviembre del 2003, José Pedro Mery establece que una carpeta asfáltica después de 5 años presenta valores entre 0,40 y 0,65; por lo que se puede decir que ambos tramos son aptos para certificar una seguridad a los conductores, sin que por ello se provoque desgaste de los neumáticos al ocurrir roce de esta mezcla de macrotextura rugosa. Asimismo, se puede inferir que estos caminos no difieren mucho del comportamiento de una carpeta de rodadura convencional.

## 7.6 Síntesis

En la toma de datos de la Ruta S-20, se ocuparon los resultados más desfavorables, que pertenecen al equipo de Vialidad Regional de Temuco. Sin embargo, aunque se rebajaran valores a los registros obtenidos por el permeámetro del LNV, en ningún caso son menores los valores de permeabilidad del tramo Valdivia - Paillaco (cuyos datos fueron recogidos por el propio permeámetro de Santiago), por lo que el comportamiento de este último tramo es óptimo y supera el desempeño de Temuco - Cholchol en este ámbito.

En términos de la fricción del pavimento, los resultados en el tiempo son enteramente satisfactorios en las dos zonas, comparables a las de una carpeta asfáltica tradicional. Por lo tanto, con estas mezclas se asegura una adherencia apta para que el usuario no pierda el control de su vehículo en condiciones de lluvia.

El hecho de que el tramo Valdivia – Paillaco tuviese mejores resultados en cuanto a la permeabilidad y condición funcional, demuestran que las mezclas drenantes funcionan de mejor forma en zonas de alta pluviometría, alta cantidad de tráfico y con salidas pavimentadas. Con esto se tiene una necesaria limpieza periódica del camino por medio natural. Además, las formas artificiales de limpieza de esta carpeta se han revelado como poco eficaces en todas las experiencias del mundo.

## **CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES**

Las solicitaciones a las que, cada vez con mayor intensidad, se ven sometidos los materiales empleados en la construcción de carreteras, ya sea por el incremento del volumen de tráfico y sus cargas, como por la necesidad de reducir al mínimo los trabajos de reconstrucción y mantenimiento, hace que el uso de asfaltos modificados con polímeros (como es el caso de las mezclas drenantes), desempeñen un papel cada vez más importante en las mezclas asfálticas como medio de conseguir pavimentos más duraderos, seguros, cómodos y rentables. Esto se debe a que en mezclas fabricadas con ligante modificado, se aprecia una menor degradación que en las mezclas con ligante convencional.

Las mezclas drenantes cumplieron en los dos casos que su vida útil se extendería entre 8 y 10 años (comparable a una mezcla asfáltica tradicional). Estos resultados son auspiciosos para experimentar con otros tramos de esta solución asfáltica, realizando un método de seguimiento que incluye:

- Ensayos in situ relativos a la microtextura, macrotextura y drenabilidad del pavimento, y levantamiento de monografías cada 2 años. Adicionalmente, si es posible se debe incluir fotos y películas con relatos y comentarios de la condición del pavimento.
- Organización de archivos y sistemas de evaluación en cada nuevo período de evaluación, para determinar la evolución global desde el día 0 hasta la actualidad.
- Catastro y análisis de datos referidos al clima, tránsito y otras condiciones locales en cada período, y relacionarlo con el estado de la carpeta de rodadura drenante.

Para mantener la condición porosa de esta mezcla en el tiempo, se sugiere la investigación posterior del uso de bombas con agua a alta presión, como una forma de limpiar y reducir la pérdida de los huecos interconectados. Se debe medir con el permeámetro LCS el tiempo de evacuación del agua en el pavimento antes y después del rociado con este tipo de bomba, para medir el realmente si es recomendable realizar esta acción en el futuro.

La pérdida de drenabilidad y los casos extremos de completa colmatación de las mezclas en algunas zonas de uno de los dos tramos en estudio, es atribuible casi en su totalidad, a los acarreo de materiales finos procedentes de los caminos rurales. Además, sobre esto se debe mencionar que en Temuco – Cholchol existía un vertedero en las cercanías del tramo, es por esto que la pista derecha (que la que pasaban los camiones llenos de basura a descargar al vertedero) tiene más problemas de permeabilidad y de pérdida de áridos.

La variabilidad en los resultados arrojados por dos equipos distintos de permeabilidad, hace necesaria la recomendación de regularizar y estandarizar estos instrumentos de medición, para así no obtener diferencias tan holgadas en los tiempos de drenabilidad dados por este ensayo. Al mismo tiempo, también se debe modificar la norma de este ensayo (ítem 8.302.44 del Manual de Carreteras), ya que la distancia entre las dos marcas de medida del cilindro es de 20 [cm] y no de 25 como se indica. Con esto se tendría una adaptación a la norma española NLT 327/88 en cuanto a la cantidad de agua que drena en este ensayo in situ.

Es importante destacar que en los sectores aledaños al tramos experimental Temuco – Cholchol, se han construido mucho más casas (y por ende salidas de tierra para vehículos) que en el momento de su apertura, por lo que esto afecta en forma negativa en la permeabilidad de las mezclas. Por otro lado, las personas que viven cerca del tramo se benefician al no sentir en tanta magnitud el ruido del paso de los vehículos

por el efecto de estas mezclas, por lo que se deberían equilibrar estos factores al momento de decidir dónde usar las mezclas drenantes.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda el uso de estas mezclas con las siguientes condiciones:

- Según condiciones climáticas, usarla en zonas lluviosas, con régimen de lluvias razonablemente constante y superior a los 1000 [mm] mensuales.
- Zonas con altitudes iguales o inferiores a los 1200 [m.s.n.m] sin problemas de nieve o formación de hielo, ya que la congelación expande el volumen del agua que queda almacenada en los poros de la mezcla, provocando desprendimiento y pérdida de áridos en la superficie.
- Evitar que los tramos donde se use tengan grandes pendientes longitudinales o previamente realizar un ranurado tipo “espina de pescado” en la superficie de la capa subyacente sobre la cual se colocará la mezcla drenante.
- Uso especialmente para autopistas y autovías urbanas con intensidad de tráfico superior a 3.000 vehículos al día. Las carreteras deben tener sus accesos pavimentados para evitar colmatación temprana de los poros.
- Evitar el uso en zonas rurales donde exista el transporte de materiales a través de carretas y otras maquinarias agrícolas. Las pasadas de estos vehículos son las más perjudiciales para las mezclas drenantes debido al acarreo de material fino que ensucia los poros de la carpeta.
- Se deberá proveer de sistemas específicos de captación y de eliminación de agua infiltrada a través de la superficie del pavimento.

También se recomienda que a futuro se realice un tramo experimental con esta mezcla, pero en un sector que posea virajes de diferentes radios de curvatura. Con estas singularidades en el camino se obtendrían nuevos comportamientos en términos de permeabilidad, ya que por el peralte de las curvas, la pista más cerrada tendría más

circulación de agua por entre sus huecos interconectados. Su análisis serviría para sacar más conclusiones sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas drenantes en Chile, para que esta carpeta sea una solución más en la pavimentación de vías en el país.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANCE, L. 2000. Cálculo de Velocidad en base a Huellas de Derrape. Buenos Aires, Argentina. Publicación Técnica s.num. 9 p.

ASPHALT INSTITUTE. 1989. Manual del Asfalto. Estados Unidos. 477 p.

BARDESI, A. 1999. Fabricación y Puesta de Obra. Actas de: CONGRESO EUROPEO de Mezclas Drenantes. Madrid, España. 17 p.

CONAMA. 2002. Resolución N°022/2002 Califica ambientalmente favorable proyecto que se indica. 46 p.

COSSALTER, V. 2001. Resistenza al Rotolamento. En: Cinematica e dinamica della motocicletta. 2a Edición. Italia, Editorial Progetto Libreria. pp. 40-42.

DELFIN, F., GONZÁLEZ, G. y DÍAZ, C. 2007. Seguimiento a Mezcla Drenante de Rodadura con siete años servicio, Ruta 207 Paillaco – Valdivia, Chile. Actas de: CONGRESO CILA 2007. La Habana, Cuba. 17 p.

ECHEVERRÍA, G. s. a. Transparencias Tomo 1. Santiago. Apuntes del Curso Diseño y Construcción de Firms, Universidad de Chile. 97 p.

ESPAÑA. Comunidad Económica Europea. 1991. Ley 91/226/CEE. Información Básica para el Montaje de Faldillas y Guardabarros con Dispositivo Antiproyección. Marzo 1991. 25 p.

FUERZA AÉREA ARGENTINA. 2002. El Hidroplaneo. El Palomar, Argentina. Publicación Técnica s.num. 7 p.

GERETTO, J. 2002. Hidroplaneo (Aquaplaning). Actas de: VII CONGRESO Internacional de Derecho de Daños. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Derecho. 7 p.

HIDROPLANEAMIENTO [en línea] <<http://www.aaba.org.ar/bi20op72.htm>>  
[consulta: 27 marzo 2008]

HIDROPLANEAMIENTO: UN peligro cuando se maneja velozmente sobre el pavimento mojado  
[en línea] <<http://www.firestone.com.mx/index.asp?action=content.main&cID=4,119,120>>  
[consulta: 28 marzo 2008]

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. 2002. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional de México. Querétaro, México. Publicación técnica N° 170.

MEJORAS EN la pista de Aeroparque [en línea]  
<[http://www.aeroespacio.com.ar/site/anteriores/551-560/552/SITE/\\_08pista.htm](http://www.aeroespacio.com.ar/site/anteriores/551-560/552/SITE/_08pista.htm)>  
[consulta: 27 marzo 2008]

MERY, J. 2003. Péndulo Británico y Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos: Lo Tradicional no Pasa de Moda. Revista BIT Noviembre 2004: 28-31.

MIRÓ, R. 2006. Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el confort (ruido) y la seguridad. Zaragoza, España. Publicación Técnica de la Universidad Politécnica de Cataluña s.num.

MOP. 2004. Catálogo de Deterioro de Pavimentos. Publicación del sistema de auscultación visual para los caminos de la red vial pavimentada de Chile. 79 p.

MOP. 2003. Manual de Carreteras Volumen N° 5 Especificaciones Técnicas Generales de Construcción. 636 p.

MOP. 2003. Manual de Carreteras Volumen N° 8 Especificaciones y métodos de muestreo, ensayo y control. 1096 p.



- MUÑOZ, G. 2001. Mezclas Drenantes. Santiago. Apuntes para el Curso Laboratorista Vial Clase B. 12 p.
- MURO, J. 2001. Mezclas Asfálticas. Actas de: JORNADAS SOBRE innovaciones técnicas en la construcción de carreteras. España, Asociación Española de la Carretera. 65 p.
- REBOLLO, O., GONZÁLEZ, R. y BOTASSO, G. 2000. Determinación del Porcentaje de Ligante Óptimo, en Mezclas Asfálticas Abiertas. Buenos Aires, Argentina. 17 p.
- ROCO, V., FUENTES, C. y VALVERDE S. 2002. Evaluación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos. Actas de: 6º Congreso Internacional PROVIAL CHILE 2002. Santiago. 9 p.
- RUIZ, A. 1990. Las Mezclas Drenantes en España. Revista Rutas Octubre 1990. 10 p.
- RUIZ, A. s.a. Panorámica Española de las Mezclas Bituminosas, Desarrollos recientes y Consideraciones de Futuro. Madrid, España. Publicación del Centro de Estudios del Transporte del CEDEX.
- RUIZ, C. 2000. Las Mezclas Drenantes en Chile. Universidad Técnica Federico Santa María. Memoria de Ingeniería Civil. Valparaíso, Universidad Técnica Federico Santa María. 193 p.
- SEPÚLVEDA, G. y FONSECA, C. 2001. Tecnología del Asfalto. Santiago. Apuntes Diplomado de Materiales, Universidad de Santiago. 30 p.
- SOLMINIHAC, H. 2004. Fricción Superficial en Pavimentos: Correlación entre Diversos Equipos de Medición. Revista BIT Marzo 2004: 30-34.
- SOLMINIHAC, H. 2006. Gestión de Infraestructura Vial. Actas de: Congreso de Planificación y Gestión Vial. Lima, Universidad de Piura. 48 p.
- THENOUX, G., CARRILLO, H. y HALLES, F. 2003. Filosofía y conceptos para la gestión de mantenimiento de pavimentos asfálticos. Santiago. Boletín Técnico N°6 del Instituto Chileno del Asfalto. 7 p.

## ANEXOS

### ANEXO A1: DATOS TEMUCO – CHOLCHOL

**Tabla 21 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Septiembre 1999).**

KM	Permeabilidad Septiembre 1999 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
8100	37	29	20	23	23	42
8200	37	23	28	33	38	27
8500	29	21	14	28	31	18
8620	24	17	25	-	-	-
8700	15	17	16	27	23	18
8900	17	16	14	15	24	30
<b>Sumatoria</b>	157	122	117	125	138	135
<b>N° datos</b>	6	6	6	5	5	5
<b>Promedio</b>	26.17	20.33	19.50	25.00	27.60	27.00
<b>Desviación</b>	9.54	4.88	5.92	6.64	6.65	9.95
<b>Mediana</b>	26.00	19.00	18.00	26.50	24.00	27.00
<b>Máximo</b>	37	29	28	33	38	42
<b>Mínimo</b>	15	16	14	15	23	18

**Tabla 22 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Julio 2000).**

KM	Permeabilidad Julio 2000 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
8100	108	114	175	93	47	51
8200	86	174	68	-	577	916
8500	44	42	35	96	66	142
8620	134	28	54	197	56	57
8700	39	24	42	242	70	96
8900	85	37	29	729	117	298
<b>Sumatoria</b>	496	419	403	1357	932	1558
<b>N° datos</b>	6	6	6	5	6	6
<b>Promedio</b>	82.67	69.75	67.08	271.30	155.25	259.58
<b>Desviación</b>	36.59	60.90	54.70	263.90	207.77	333.85
<b>Mediana</b>	85.50	39.50	48.00	197.00	67.75	118.50
<b>Máximo</b>	134	174	175	729	577	916
<b>Mínimo</b>	39	24	29	93	47	51

**Tabla 23 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Noviembre 2004).**

KM	Permeabilidad Noviembre 2004 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
8100	448	445	947	-	-	-
8200	158	249	-	-	-	-
8500	76	64	54	-	-	-
8620	77	40	-	-	-	-
8700	65	82	64	1121	980	-
8900	76	140	-	734	198	-
<b>Sumatoria</b>	899	1018	1065	1855	1178	-
<b>N° datos</b>	6	6	3	2	2	-
<b>Promedio</b>	149.83	169.58	354.83	927.25	588.75	-
<b>Desviación</b>	149.96	154.22	512.85	274.00	553.31	-
<b>Mediana</b>	76.50	110.50	63.50	927.25	588.75	-
<b>Máximo</b>	448	445	947	1121	980	-
<b>Mínimo</b>	65	40	54	734	198	-

**Tabla 24 - Permeabilidad Temuco – Cholchol (Junio 2008).**

KM	Permeabilidad Junio 2008 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
8100	-	2040	1679	-	-	-
8200	546	891	-	-	1020	-
8500	705	-	227	812	842	900
8620	204	919	-	520	564	-
8700	475	513	1344	302	278	720
8900	294	499	-	600	713	-
<b>Sumatoria</b>	2224	4862	3250	2234	3417	1620
<b>N° datos</b>	5	5	3	4	5	3
<b>Promedio</b>	444.80	972.40	1083.33	558.50	683.40	810.00
<b>Desviación</b>	199.74	629.37	760.29	210.76	281.93	127.28
<b>Mediana</b>	475.00	891.00	1344.00	560.00	713.00	810.00
<b>Máximo</b>	705	2040	1679	812	1020	900
<b>Mínimo</b>	204	499	227	302	278	720

**Tabla 25 - SCRIM Temuco – Cholchol (Agosto 2001, Enero 2002 y Abril 2002).**

Agosto 2001-				Enero 2002-				Abril 2002-			
Km <sub>i</sub>	Km <sub>r</sub>	SFC		Km <sub>i</sub>	Km <sub>r</sub>	SFC		Km <sub>i</sub>	Km <sub>r</sub>	SFC	
		Pista 1	Pista 2			Pista 1	Pista 2			Pista 1	Pista 2
5.000	5.200	0.64	0.60	5.000	5.200	0.36	0.48	7.400	7.600	-	0.55
5.200	5.400	0.62	0.59	5.200	5.400	0.42	0.46	7.600	7.800	0.46	0.54
5.400	5.600	0.64	0.58	5.400	5.600	0.41	0.45	7.800	8.000	0.51	0.51
5.600	5.800	0.61	0.62	5.600	5.800	0.43	0.47	<b>8.000</b>	<b>8.200</b>	<b>0.63</b>	<b>0.66</b>
5.800	6.000	0.59	0.57	5.800	6.000	0.41	0.42	<b>8.200</b>	<b>8.400</b>	<b>0.68</b>	<b>0.71</b>
6.000	6.200	0.63	0.57	6.000	6.200	0.44	0.46	<b>8.400</b>	<b>8.600</b>	<b>0.65</b>	<b>0.66</b>
6.200	6.400	0.61	0.58	6.200	6.400	0.42	0.45	<b>8.600</b>	<b>8.800</b>	<b>0.68</b>	<b>0.72</b>
6.400	6.600	0.64	0.55	6.400	6.600	0.46	0.44	<b>8.800</b>	<b>9.000</b>	<b>0.67</b>	<b>0.71</b>
6.600	6.800	0.62	0.57	6.600	6.800	0.46	0.43	9.000	9.200	0.54	0.54
6.800	7.000	0.64	0.62	6.800	7.000	0.44	0.48	9.200	9.400	-	0.53
7.000	7.200	0.63	0.63	7.000	7.200	0.44	0.50				
7.200	7.400	0.65	0.58	7.200	7.400	0.45	0.46				
7.400	7.600	0.58	0.55	7.400	7.600	0.41	0.40				
7.600	7.800	0.59	0.57	7.600	7.800	0.41	0.37				
7.800	8.000	0.59	0.54	7.800	8.000	0.39	0.34				
<b>8.000</b>	<b>8.200</b>	<b>0.79</b>	<b>0.68</b>	<b>8.000</b>	<b>8.200</b>	<b>0.54</b>	<b>0.47</b>				
<b>8.200</b>	<b>8.400</b>	<b>0.79</b>	<b>0.72</b>	<b>8.200</b>	<b>8.400</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>				
<b>8.400</b>	<b>8.600</b>	<b>0.78</b>	<b>0.69</b>	<b>8.400</b>	<b>8.600</b>	<b>0.50</b>	<b>0.47</b>				
<b>8.600</b>	<b>8.800</b>	<b>0.78</b>	<b>0.68</b>	<b>8.600</b>	<b>8.800</b>	<b>0.52</b>	<b>0.48</b>				
<b>8.800</b>	<b>9.000</b>	<b>0.75</b>	<b>0.68</b>	<b>8.800</b>	<b>9.000</b>	<b>0.52</b>	<b>0.52</b>				
9.000	9.200	0.61	0.53	9.000	9.200	0.39	0.34				
9.200	9.400	0.61	0.53	9.200	9.400	0.38	0.35				
9.400	9.600	0.64	0.56	9.400	9.600	0.41	0.34				
9.600	9.800	0.62	0.55	9.600	9.800	0.41	0.40				
9.800	10.000	0.63	0.57	9.800	10.000	0.44	0.37				

**Tabla 26 - SCRIM Temuco – Cholchol (Marzo 2003, Noviembre 2004 y Abril 2005).**

Marzo 2003-				Noviembre 2004-				Abril 2005-			
Km <sub>i</sub>	Km <sub>f</sub>	SFC		Km <sub>i</sub>	Km <sub>f</sub>	SFC		Km <sub>i</sub>	Km <sub>f</sub>	SFC	
		Pista 1	Pista 2			Pista 1	Pista 2			Pista 1	Pista 2
6.500	6.600	0.50	-	7.000	7.100	0.57	0.54	7.000	7.100	0.49	0.51
6.600	6.700	0.48	-	7.100	7.200	0.59	0.51	7.100	7.200	0.53	0.48
6.700	6.800	0.52	-	7.200	7.300	0.59	0.50	7.200	7.300	0.53	0.49
6.800	6.900	0.55	0.48	7.300	7.400	0.56	0.47	7.300	7.400	0.60	0.46
6.900	7.000	0.54	0.50	7.400	7.500	0.60	0.48	7.400	7.500	0.54	0.46
7.000	7.100	0.54	0.52	7.500	7.600	0.56	0.47	7.500	7.600	0.61	0.47
7.100	7.200	0.56	0.51	7.600	7.700	0.55	0.46	7.600	7.700	0.57	0.47
7.200	7.300	0.58	0.51	7.700	7.800	0.56	0.46	7.700	7.800	0.54	0.46
7.300	7.400	0.57	0.43	7.800	7.900	0.56	0.38	7.800	7.900	0.53	0.44
7.400	7.500	0.50	0.45	7.900	8.000	0.66	0.36	7.900	8.000	0.50	0.43
7.500	7.600	0.53	0.45	<b>8.000</b>	<b>8.100</b>	<b>0.61</b>	<b>0.50</b>	<b>8.000</b>	<b>8.100</b>	<b>0.62</b>	<b>0.51</b>
7.600	7.700	0.51	0.47	<b>8.100</b>	<b>8.200</b>	<b>0.60</b>	<b>0.54</b>	<b>8.100</b>	<b>8.200</b>	<b>0.57</b>	<b>0.55</b>
7.700	7.800	0.53	0.46	<b>8.200</b>	<b>8.300</b>	<b>0.60</b>	<b>0.55</b>	<b>8.200</b>	<b>8.300</b>	<b>0.54</b>	<b>0.58</b>
7.800	7.900	0.50	0.43	<b>8.300</b>	<b>8.400</b>	<b>0.61</b>	<b>0.57</b>	<b>8.300</b>	<b>8.400</b>	<b>0.57</b>	<b>0.60</b>
7.900	8.000	0.50	0.45	<b>8.400</b>	<b>8.500</b>	<b>0.55</b>	<b>0.53</b>	<b>8.400</b>	<b>8.500</b>	<b>0.57</b>	<b>0.54</b>
<b>8.000</b>	<b>8.100</b>	<b>0.63</b>	<b>0.54</b>	<b>8.500</b>	<b>8.600</b>	<b>0.56</b>	<b>0.53</b>	<b>8.500</b>	<b>8.600</b>	<b>0.58</b>	<b>0.52</b>
<b>8.100</b>	<b>8.200</b>	<b>0.60</b>	<b>0.53</b>	<b>8.600</b>	<b>8.700</b>	<b>0.56</b>	<b>0.54</b>	<b>8.600</b>	<b>8.700</b>	<b>0.58</b>	<b>0.53</b>
<b>8.200</b>	<b>8.300</b>	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	<b>8.700</b>	<b>8.800</b>	<b>0.57</b>	<b>0.56</b>	<b>8.700</b>	<b>8.800</b>	<b>0.56</b>	<b>0.58</b>
<b>8.300</b>	<b>8.400</b>	<b>0.58</b>	<b>0.56</b>	<b>8.800</b>	<b>8.900</b>	<b>0.53</b>	<b>0.57</b>	<b>8.800</b>	<b>8.900</b>	<b>0.54</b>	<b>0.58</b>
<b>8.400</b>	<b>8.500</b>	<b>0.59</b>	<b>0.56</b>	<b>8.900</b>	<b>9.000</b>	<b>0.46</b>	<b>0.60</b>	<b>8.900</b>	<b>9.000</b>	<b>0.55</b>	<b>0.60</b>
<b>8.500</b>	<b>8.600</b>	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	9.000	9.100	0.51	0.42	9.000	9.100	0.45	0.43
<b>8.600</b>	<b>8.700</b>	<b>0.58</b>	<b>0.51</b>	9.100	9.200	0.52	0.39	9.100	9.200	0.48	0.43
<b>8.700</b>	<b>8.800</b>	<b>0.61</b>	<b>0.54</b>	9.200	9.300	0.44	0.41	9.200	9.300	0.49	0.44
<b>8.800</b>	<b>8.900</b>	<b>0.55</b>	<b>0.54</b>	9.300	9.400	0.54	0.44	9.300	9.400	0.46	0.45
<b>8.900</b>	<b>9.000</b>	<b>0.53</b>	<b>0.55</b>	9.400	9.500	0.52	0.41	9.400	9.500	0.51	0.45
9.000	9.100	0.47	0.39	9.500	9.600	0.56	0.46	9.500	9.600	0.54	0.48
9.100	9.200	0.50	0.40	9.600	9.700	0.52	0.49	9.600	9.700	0.53	0.50
9.200	9.300	0.50	0.43	9.700	9.800	0.52	0.50	9.700	9.800	0.51	0.51
9.300	9.400	0.47	0.47	9.800	9.900	0.52	0.55	9.800	9.900	0.51	0.53
9.400	9.500	0.51	0.42	9.900	10.000	0.56	0.52	9.900	10.000	0.50	0.49
9.500	9.600	0.52	0.43								
9.600	9.700	0.52	0.43								
9.700	9.800	0.52	0.43								
9.800	9.900	0.52	0.45								
9.900	10.000	0.49	0.43								
10.000	10.100	0.47	-								

**Tabla 27 - SCRIM Temuco – Cholchol (Septiembre 2006).**

Septiembre 2006-			
Km <sub>i</sub>	Km <sub>r</sub>	SFC	
		Pista 1	Pista 2
7.000	7.100	0.59	0.53
7.100	7.200	0.59	0.50
7.200	7.300	0.61	0.48
7.300	7.400	0.57	0.46
7.400	7.500	0.51	0.44
7.500	7.600	0.56	0.45
7.600	7.700	0.55	0.43
7.700	7.800	0.56	0.42
7.800	7.900	0.53	0.39
7.900	8.000	0.51	0.39
<b>8.000</b>	<b>8.100</b>	<b>0.59</b>	<b>0.54</b>
<b>8.100</b>	<b>8.200</b>	<b>0.59</b>	<b>0.55</b>
<b>8.200</b>	<b>8.300</b>	<b>0.57</b>	<b>0.56</b>
<b>8.300</b>	<b>8.400</b>	<b>0.58</b>	<b>0.62</b>
<b>8.400</b>	<b>8.500</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>
<b>8.500</b>	<b>8.600</b>	<b>0.53</b>	<b>0.52</b>
<b>8.600</b>	<b>8.700</b>	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>
<b>8.700</b>	<b>8.800</b>	<b>0.53</b>	<b>0.57</b>
<b>8.800</b>	<b>8.900</b>	<b>0.52</b>	<b>0.59</b>
<b>8.900</b>	<b>9.000</b>	<b>0.52</b>	<b>0.65</b>
9.000	9.100	0.44	0.42
9.100	9.200	0.48	0.39
9.200	9.300	0.49	0.42
9.300	9.400	0.46	0.42
9.400	9.500	0.54	0.38
9.500	9.600	0.50	0.40
9.600	9.700	0.54	0.42
9.700	9.800	0.55	0.43
9.800	9.900	0.53	0.43
9.900	10.000	0.53	0.90

**Tabla 28 - Pluviometría Temuco – Cholchol (2000 - 2007).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
2000	6.2	106.4	25.6	78.5	82.0	377.3	120.7	92.6	133.6	44.1	39.9	34.8	1141.7
2001	65.8	3.4	65.0	57.1	208.9	166.9	270.9	115.4	38.0	46.1	45.9	3.5	1086.9
2002	23.8	28.7	105.2	67.5	202.1	105.6	88.0	166.7	80.6	163.0	86.7	51.2	1169.1
2003	12.2	4.2	16.3	26.7	47.2	278.6	108.0	83.9	94.1	77.1	67.4	44.0	859.7
2004	8.7	34.0	32.3	127.9	8.6	170.4	203.6	90.3	71.0	105.7	59.7	30.4	942.6
2005	10.9	5.0	16.5	43.4	307.7	268.2	144.6	177.3	94.7	27.9	75.0	15.9	1187.1
2006	23.2	9.2	28.0	140.1	128.5	234.1	161.5	149.3	63.0	64.0	16.5	37.6	1055.0
2007	10.0	28.0	19.7	122.5	61.2	164.7	130.5	96.8	74.0	32.8	12.0	15.0	767.2
<b>MEDIA</b>	<b>20.1</b>	<b>27.4</b>	<b>38.6</b>	<b>83.0</b>	<b>130.8</b>	<b>220.7</b>	<b>153.5</b>	<b>121.5</b>	<b>81.1</b>	<b>70.1</b>	<b>50.4</b>	<b>29.1</b>	<b>1026.2</b>

**Tabla 29 – TMDA Temuco – Cholchol (2000 - 2006).**

Año	TMDA	Distribución TMDA (%)				
		Veh. Liviano	Camión Simple	Locomoción Colectiva	Camión Articulado	No Clasificados
2000	747	85.27	8.66	3.06	1.04	1.97
2001	914	83.16	10.27	2.99	1.45	2.13
2002	1008	83.40	9.87	3.05	2.13	1.55
2003	961	81.43	11.15	3.86	1.88	1.68
2004	926	83.50	9.85	3.97	1.46	1.22
2005	983	82.60	10.56	3.68	1.93	1.23
2006	1018	83.08	10.04	3.41	2.17	1.30

## ANEXO A2: DATOS VALDIVIA – PAILLACO

Tabla 30 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (2000).

KM	Permeabilidad Año 2000 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
19250	38	66	37	29	47	23
19500	32	25	-	21	24	-
19750	33	28	29	26	30	23
20000	34	23	-	26	23	-
20250	43	20	24	23	30	26
20500	49	25	-	27	23	-
20750	40	23	23	18	29	30
20800	22	24	20	29	30	32
20900	22	20	-	27	40	-
21200	31	20	37	25	24	28
21900	57	42	-	29	27	-
22200	45	30	37	40	40	37
22400	28	20	-	28	29	-
22600	24	26	27	35	18	21
Sumatoria	498	392	234	383	414	220
N ° datos	14	14	8	14	14	8
Promedio	35.57	28.00	29.25	27.36	29.57	27.50
Desviación	10.42	12.37	6.94	5.43	7.90	5.37
Mediana	33.50	24.50	28.00	27.00	29.00	27.00
Máximo	57	66	37	40	47	37
Mínimo	22	20	20	18	18	21

Tabla 31 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (Mayo 2002).

KM	Permeabilidad Mayo 2002 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
19250	40	55	69	30	70	30
19500	40	38	-	34	40	-
19750	58	37	79	26	34	36
20000	32	32	-	22	29	-
20250	37	21	36	55	28	24
20500	96	44	-	36	33	-
20750	48	33	41	19	27	36
20800	34	36	40	35	25	49
20900	33	29	-	41	40	-
21200	47	40	48	40	36	51
21900	104	61	-	29	33	-
22200	67	67	46	72	59	55
22400	59	44	-	29	31	-
22600	41	43	26	34	21	23
Sumatoria	736	580	385	502	506	304
N ° datos	14	14	8	14	14	8
Promedio	52.57	41.43	48.13	35.86	36.14	38.00
Desviación	22.71	12.50	17.51	13.66	13.31	12.38
Mediana	44.00	39.00	43.50	34.00	33.00	36.00
Máximo	104	67	79	72	70	55
Mínimo	32	21	26	19	21	23

**Tabla 32 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (Mayo 2003).**

KM	Permeabilidad Mayo 2003 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
19250	53	129	50	66	76	56
19500	65	56	-	51	52	-
19750	100	85	69	23	73	35
20000	36	32	-	25	29	-
20250	42	33	54	41	31	33
20500	110	48	-	28	32	-
20750	39	35	48	30	46	38
20800	38	47	40	48	41	32
20900	41	36	-	42	59	-
21200	61	34	49	39	68	98
21900	106	65	-	33	39	-
22200	68	64	45	166	83	62
22400	72	61	-	45	37	-
22600	112	42	42	43	44	44
<b>Sumatoria</b>	943	767	397	680	710	398
<b>N ° datos</b>	14	14	8	14	14	8
<b>Promedio</b>	67.36	54.79	49.63	48.57	50.71	49.75
<b>Desviación</b>	28.60	26.44	9.02	35.69	18.07	22.37
<b>Mediana</b>	63.00	47.50	48.50	41.50	45.00	41.00
<b>Máximo</b>	112	129	69	166	83	98
<b>Mínimo</b>	36	32	40	23	29	32

**Tabla 33 - Permeabilidad Valdivia – Paillaco (Noviembre 2006).**

KM	Permeabilidad Noviembre 2006 [seg]					
	Pista Derecha			Pista Izquierda		
	Exterior	Interior	Central	Exterior	Interior	Central
19250	82	97	81	152	104	127
19500	41	35	-	59	55	-
19750	40	56	97	27	48	45
20000	37	32	-	57	37	-
20250	58	37	31	35	40	54
20500	174	82	-	31	62	-
20750	44	35	43	-	-	-
20800	57	79	-	-	-	-
20900	38	34	-	46	50	-
21200	68	110	80	58	111	109
21900	118	49	-	-	-	-
22200	182	130	128	221	241	257
22400	62	120	-	53	78	-
22600	90	108	82	40	34	53
<b>Sumatoria</b>	1091	1004	542	779	860	645
<b>N ° datos</b>	14	14	7	11	11	6
<b>Promedio</b>	77.93	71.71	77.43	70.82	78.18	107.50
<b>Desviación</b>	48.23	36.13	32.46	60.26	59.89	80.59
<b>Mediana</b>	60.00	67.50	81.00	53.00	55.00	81.50
<b>Máximo</b>	182	130	128	221	241	257
<b>Mínimo</b>	37	32	31	27	34	45

**Tabla 34 - Péndulo británico Valdivia – Paillaco (2006).**

KM	CRD Pista Derecha		CRD Pista Izquierda	
	Huella Externa	Huella Interna	Huella Externa	Huella Interna
19270	0.52	0.62	0.53	-
19500	0.52	0.53	0.45	0.49
19750	0.60	0.57	0.60	-
20000	0.54	0.53	0.71	0.74
20250	0.66	0.66	0.58	-
20500	0.46	-	0.59	-
20750	0.48	0.47	-	-
20780	0.46	-	-	-
20900	0.64	0.57	0.52	0.54
21200	0.62	-	0.68	-
21900	0.55	-	-	-
22200	0.65	0.54	0.68	-
22400	0.62	0.55	0.72	0.54
22600	0.57	-	0.59	0.56
<b>Promedio</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>0.60</b>	<b>0.57</b>
<b>Máximo</b>	<b>0.66</b>	<b>0.66</b>	<b>0.72</b>	<b>0.74</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0.46</b>	<b>0.47</b>	<b>0.45</b>	<b>0.49</b>
<b>Desviación</b>	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>0.09</b>	<b>0.10</b>

**Tabla 35 - Pluviometría Valdivia – Paillaco (2004 - 2007).**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
2004	16.1	27.3	74.1	340.6	32.4	678	351	-	185.5	249.8	129.2	85	2169
2005	49.1	3	143.9	78.7	797.4	485.4	313.1	352.2	148.6	55.5	288.5	46.5	2761.9
2006	183.8	28.2	101.1	292.1	211.2	564.9	464.9	317.3	188.3	195.4	51.4	225.1	2823.7
2007	-	33.4	44.2	237.9	61.5	225.2	356	262.7	173.2	203.3	35.5	59.3	1658.8
<b>MEDIA</b>	<b>83.0</b>	<b>19.5</b>	<b>90.8</b>	<b>237.3</b>	<b>275.6</b>	<b>488.4</b>	<b>371.3</b>	<b>310.7</b>	<b>173.9</b>	<b>176.0</b>	<b>126.2</b>	<b>104.0</b>	<b>2456.7</b>

**Tabla 36 - TMDA Valdivia – Paillaco (2004 - 2007).**

Año	TMDA	Distribución TMDA (%)				
		Vehículo Liviano	Camión Simple 2 Ejes	Camión Simple + de 2 Ejes	Remolque y Semi Remolque	Locomoción Colectiva
1994	3092	65.82	7.67	2.82	11.59	12.10
1996	3493	60.14	9.74	4.49	16.39	9.24
1998	3537	66.21	8.91	2.78	13.10	9.00
2000	3533	66.26	9.47	5.73	5.77	12.77
2002	2550	67.24	8.34	4.57	7.22	12.63
2004	2852	66.01	7.86	3.71	7.16	15.26
2006	3063	69.62	7.28	3.15	6.61	13.34